



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

CARACTERIZACIÓN RADIOLÓGICA Y CÁLCULO DE LA
EXPOSICIÓN EXTERNA DE LAS AGUAS TERMALES DE LA
PROVINCIA DE TUNGURAHUA UTILIZANDO
ESPECTROMETRÍA GAMMA

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICO

AUTOR: WILSON SANTIAGO REINO CÁRDENAS

TUTORA: DRA. JHENY ORBE ORDOÑEZ

Riobamba-Ecuador

2016

© 2016, Wilson Santiago Reino Cárdenas

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
CARRERA: BIOFÍSICA

El tribunal de tesis certifica que el trabajo experimental: “CARACTERIZACIÓN RADIOLÓGICA Y CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN EXTERNA DE LAS AGUAS TERMALES DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA UTILIZANDO ESPECTROMETRÍA GAMMA.”, de responsabilidad del Señor Wilson Santiago Reino Cárdenas, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dra. Jheny Orbe Ordoñez

.....

.....

DIRECTORA DE TESIS

Dr. Arquímedes Haro

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Reino Cárdenas Wilson Santiago soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

.....
Wilson Reino

180501234-9

DEDICATORIA

A la memoria de mis ancestros.

Wilson S. Reino

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por ayudarme a entrar en el camino de la Ciencia.

A la ESPOCH y sus maestros en especial a mis tutores, por encaminarme a través de la Física a desarrollar este trabajo de investigación.

A la SCAN y sus investigadores, de manera especial al Dr. Omar Suárez, que me guio para producir conocimiento y enriquecer la información científica de la nación.

A mis amigos, que sin ellos no hubiera sido capaz de encontrar motivación en este cometido.

Wilson S. Reino

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	- 1 -
CAPÍTULO I.....	- 3 -
1. MARCO REFERENCIAL.....	- 3 -
1.1. Antecedentes.....	- 3 -
1.2. Planteamiento del problema.....	- 4 -
1.3. Justificación	- 5 -
1.4. Objetivos.....	- 7 -
CAPÍTULO II	- 8 -
2. MARCO TEÓRICO.....	- 8 -
2.1. Radioactividad Natural	- 8 -
2.2. Series radiactivas naturales	- 9 -
2.3. Formas de decaimiento de los elementos radiactivos	- 12 -
2.4. Magnitudes para caracterizar radiológicamente una muestra	- 14 -
2.5. Magnitudes dosimétricas	- 16 -
2.6. Exposición a fuentes de radiación natural	- 19 -
2.7. Detección del contenido radiológico en agua	- 22 -
2.8. Aguas termales de Tungurahua.....	- 22 -
CAPÍTULO III	- 25 -
3. DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN	- 25 -
3.5. Características de equipos experimentales.....	- 25 -
3.5.1. Contador de radiación alfa y beta grueso.....	- 25 -
3.5.2. Espectrómetro gamma.....	- 28 -
3.6. Variables dependientes e independientes.....	- 32 -
3.7. Tipos y caracterización de pruebas experimentales.....	- 33 -
3.7.1. Análisis alfa y beta grueso	- 33 -
3.7.2. Análisis de espectrometría gamma.....	- 34 -

3.8.	Recolección, organización y procesamiento de datos.....	- 35 -
3.8.1.	<i>Datos del conteo alfa/beta grueso</i>	- 35 -
3.8.2.	<i>Datos del espectrómetro gamma</i>	- 36 -
3.9.	Diseño experimental	- 50 -
3.9.1.	<i>Muestreo</i>	- 50 -
3.9.1.1.	<i>Procesamiento geográfico de los puntos de muestreo</i>	- 51 -
3.9.1.2.	<i>Evaluación de parámetros físico químicos y background radiactivo</i>	- 52 -
3.9.1.3.	<i>Recolección de muestras</i>	- 54 -
3.9.2.	<i>Calibración</i>	- 54 -
3.9.2.1.	<i>Curvas de calibración para análisis alfa/beta grueso</i>	- 54 -
3.9.2.2.	<i>Curvas de calibración para espectrometría gamma</i>	- 56 -
3.9.3.	<i>Monitoreo</i>	- 61 -
3.9.3.1.	<i>Análisis alfa/beta grueso</i>	- 61 -
3.9.3.2.	<i>Análisis por espectrometría gamma</i>	- 64 -
CAPÍTULO IV		- 67 -
4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	- 67 -
4.1.	Análisis e interpretación de resultados	- 67 -
4.1.1.	<i>Cálculo de la concentración de actividad alfa/beta</i>	- 67 -
4.1.2.	<i>Cálculo de concentración de actividad de los radioisótopos</i>	- 68 -
4.1.3.	<i>Cálculo de la exposición externa</i>	- 69 -
4.2.	Curvas características de la experimentación	- 72 -
CONCLUSIONES		- 85 -
RECOMENDACIONES		- 86 -
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Esquema de Segré en la que se puede apreciar el número de protones y neutrones según la estabilidad nuclear.....	- 9 -
Figura 2-2. Esquemas de decaimiento simplificados de varios elementos radiactivos con sus emisiones gamma más energéticas.....	- 12 -
Figura 3-2. Esquema de desintegración del ^{14}C	- 13 -
Figura 4-2. Esquema de desintegración del ^{238}U con emisión α acompañada de emisión γ	- 13 -
Figura 5-2. Emisores alfa de origen natural cargados en el software NuclideMaster, mostrando las energías de sus líneas espectrales y la intensidad.....	- 14 -
Figura 6-2. Equilibrio secular (izquierda) ; Equilibrio transiente (derecha)	- 16 -
Figura 7-2. Especificaciones radiológicas del Bi-214.....	- 21 -

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Diagrama de detección para equipos de espectrometría gamma.	- 29 -
Gráfico 2-3. Sistema de espectrometría gamma, vista frontal (arriba) y vista superior (abajo). ...	- 31 -
Gráfico 3-3. Equipo detector de radiación alfa/beta grueso.....	- 33 -
Gráfico 4-3. Laboratorio de espectrometría gamma, donde se puede apreciar las muestras que van a ser medidas, el blindaje que protege al detector y el deware con nitrógeno líquido.	- 34 -
Gráfico 5-3. Acidificación y medición de pH final de las muestras de agua, previa a su envasado. ...	- 54 -
Gráfico 6-3 Curvas de eficiencia tomando en cuenta el espesor másico, evaluado con Sr-90, y Am-241.....	- 55 -
Gráfico 7-3 Curva de eficiencia como función de la energía gamma de un detector típico de Ge(Li) -	- 57 -
Gráfico 8-3. Espectros gamma: A) Background radiactivo, B) Espectro de un filtro de aire particulado y C) Espectro de una muestra de agua en un contenedor Marinelli.	- 58 -
Gráfico 9-3. Contenedores de tipo Marinelli: a la izquierda el estándar multinúclidos del Instituto Checo de Metrología y a la derecha las muestras de agua termal.	- 59 -

Gráfico 10-3. Espectro gamma del estándar multinúclidos utilizado para la calibración del espectrómetro.	59 -
Gráfico 11-3. Varias contribuciones del background para un centellador de NaI(Tl) de 7.62cmx7.62cm con blindaje de plomo y parafina borada.	60 -
Gráfico 12-3. Espectro gamma del background radiactivo del laboratorio de espectrometría gamma de laboratorio de VAR.	61 -
Gráfico 13-3. Plancheta de muestreo vacía (izquierda) y plancheta de muestreo con los sólidos totales disueltos (derecha).	63 -
Gráfico 14-3. Ajuste gaussiano sobre un fotopico de un espectro gamma, para integrar su área y cuantificar su actividad.	65 -
Gráfico 15-4. Espectros gamma de la zona de los 800 KeV, arriba espectro del background radiactivo sin picos detectables, abajo espectro de la fuente termal de código 18 con la detección de los picos del Po-210 y Bi-214 mostrando su área total y su incertidumbre.	71 -
Gráfico 16-4. Dosis efectiva generada por la radiación natural ambiental de fondo (background ambiental) a 1m y a 5cm de cada fuente termal.	72 -
Gráfico 17-4. Concentración de actividad alfa/beta total de las fuentes termales	72 -
Gráfico 18-4. Concentración de actividad de los radioisótopos encontrados en cada fuente termal tomando en cuenta a los elementos que están por debajo del MDA.	73 -
Gráfico 19-4. Dosis efectiva anual generada por exposición externa a cada radioisótopo encontrado tomando en cuenta a los elementos que están por debajo del MDA.	74 -
Gráfico 20-4. Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu 1, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	75 -
Gráfico 21-4. Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu 2, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	75 -
Gráfico 22-4. Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu piscina, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	76 -
Gráfico 23-4. Espectro gamma de la fuente termal Aguaján, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	76 -
Gráfico 24-4. Espectro gamma de la fuente termal Huapante tanque, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	77 -
Gráfico 25-4. Espectro gamma de la fuente termal Huapante represa, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	77 -
Gráfico 26-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera pantano, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.	78 -

Gráfico 27-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera acequia, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 78 -
Gráfico 28-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera río, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 79 -
Gráfico 29-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Clara, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 79 -
Gráfico 30-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Ana cueva, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 80 -
Gráfico 31-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Ana chorrera, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 80 -
Gráfico 32-4. Espectro gamma de la fuente termal Virgen 1, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 81 -
Gráfico 33-4. Espectro gamma de la fuente termal Virgen 2, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 81 -
Gráfico 34-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado tanque, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 82 -
Gráfico 35-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado acequia, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 82 -
Gráfico 36-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado río, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 83 -
Gráfico 37-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado piscina cubierta, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 83 -
Gráfico 38-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado piscina descubierta, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.....	- 84 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2. Radionúclidos no en serie	- 10 -
Tabla 2-2. Radionúclidos en serie	- 11 -
Tabla 3-2. Factor de evaluación W_R de acuerdo al tipo de radiación.....	- 17 -
Tabla 4-2. Factor de ponderación W_T de acuerdo al órgano o tejido	- 18 -
Tabla 5-2. Dosis de radiación promedio de fuentes de origen natural	- 19 -
Tabla 6-2. Límites de dosis anual efectiva y equivalente.....	- 20 -
Tabla 7-2. Coordenadas geográficas de cada fuente termal de la provincia de Tungurahua. .-	24 -
Tabla 8-3. Especificaciones técnicas del detector 43-10-1 de emisiones alfa/beta.	- 25 -
Tabla 9-3. Especificaciones técnicas del contador electrónico 43-10-1 de emisiones alfa/beta.-	27 -
Tabla 10-3. Valores actuales de los parámetros principales del equipo de espectrometría gamma.-	29 -
Tabla 11-3. Características técnicas del equipo de espectrometría gamma.	- 30 -
Tabla 12-3. Variables dependientes e independientes.....	- 32 -
Tabla 13-3. Tasas de conteo alfa/beta de los sólidos de las fuentes termales.	- 35 -
Tabla 14-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu 1.....	- 36 -
Tabla 15-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu 2.....	- 37 -
Tabla 16-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu piscina.	- 37 -
Tabla 17-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Aguaján.	- 38 -
Tabla 18-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Huapante tanque.	- 39 -
Tabla 19-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Huapante represa.	- 39 -
Tabla 20-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera pantano.	- 40 -
Tabla 21-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera acequia.	- 41 -
Tabla 22-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera río.	- 42 -

Tabla 23-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Clara.	- 42 -
Tabla 24-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Ana cueva.	- 43 -
Tabla 25-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Ana chorrera.	- 44 -
Tabla 26-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Virgen 1.....	- 44 -
Tabla 27-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Virgen 2.....	- 45 -
Tabla 28-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado tanque.	- 45 -
Tabla 29-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado acequia.....	- 46 -
Tabla 30-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado río.	- 47 -
Tabla 31-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado piscina cubierta.....	- 47 -
Tabla 32-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado piscina descubierta.	- 48 -
Tabla 33-3. Parámetros físico-químicos de las aguas termales tomadas in situ en el punto de muestreo.	- 52 -
Tabla 34-3. Radiación natural de fondo tomada en los puntos de muestreo.....	- 53 -
Tabla 35-3. Cálculo de los sólidos totales disueltos de cada muestra de agua termal.....	- 62 -
Tabla 36-3. Cálculo de la concentración de actividad de los sólidos de cada fuente termal....	- 64 -
Tabla 37-3. Radionúclidos identificados en los espectros gamma de las fuentes termales.....	- 66 -
Tabla 38-4. Actividad alfa/beta gruesa de las fuente termales de la provincia de Tungurahua-	68 -
Tabla 39-4. Radioisótopos identificados por espectrometría gamma.	- 69 -
Tabla 40-4. Coeficientes para exposición externa de los radioisótopos de las aguas termales-	70 -
Tabla 41-4. Cálculo de la exposición externa debida a 1L de agua, de cada fuente termal a 10 cm de la fuente, considerando únicamente los rayos gamma.	- 70 -

LISTA DE ABREVIATURAS

MEER:	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
SCAN:	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
VAR:	Vigilancia Ambiental Radiactiva
SEAGUA:	Secretaría del Agua
CEEA:	Centro de Energías Alternativas y Ambiente
HPGe:	Germanio Híper puro
MCA:	Analizador multicanal
Bq/L:	Bequerelios/Litro
ZnS(Ag):	Sulfuro de zinc dopado con plata
Pb:	Plomo
Bi:	Bismuto
Po:	Polonio
K:	Potasio
Ac:	Actinio
POE:	Personal Ocupacionalmente Expuesto
MDA:	Actividad Mínima Detectable
UNSCEAR:	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
mg:	Miligramo
MeV:	Mega electronvoltio
KeV:	Kilo electronvoltio
mSv:	Mili sievert
OMS:	Organización Mundial de la Salud

H:	Dosis equivalente
OIEA:	Organización Internacional de energía atómica
EPA:	US Environmental Protection Agency
SI:	Sistema Internacional
CPS:	Cuentas por Segundo
DPS:	Desintegración por segundo
Ci:	Curie
ε :	Eficiencia
α :	Alfa
β :	Beta
γ :	Gamma
ICRU:	International Commission on Radiation Units and Measurements

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la caracterización radiológica de las aguas termales de la provincia de Tungurahua y el cálculo de la exposición externa que recibe la población debido a estas aguas. En este estudio de tipo exploratorio se realizó un solo muestreo de tipo simple de las 19 fuentes termales más importantes de toda la provincia, con recolección de variables físico químicas in situ, también se dio un pre tratamiento químico con ácido nítrico para conservar las muestras hasta su medición. Se analizó la radiactividad de las muestras de agua, primeramente la concentración de actividad total (Bq/L) generada por las desintegraciones radiactivas de emisores alfa y beta con un equipo contador alfa/beta basado en un centellador de sulfuro de zinc dopado con plata (ZnS (Ag)). Encontrándose valores de hasta 2,45 Bq/L en emisiones alfa gruesa y valores de hasta 0,440 Bq/L en emisiones beta gruesa, como valores máximos; y en varias muestras se consideró que la radiactividad estaba en cantidades no detectables por el equipo utilizado. Se obtuvieron espectros de emisión gamma de las aguas termales utilizando un espectrómetro gamma con detector coaxial de germanio hiper puro (HPGE). Se identificaron y cuantificaron los radioisótopos emisores gamma de cada muestra, los cuales fueron: plomo 214 (^{214}Pb), bismuto 214 (^{214}Bi), polonio 210 (^{210}Po), potasio 40 (^{40}K) y actinio 228 (^{228}Ac). Con concentraciones desde 2.5 Bq/L hasta 281 Bq/L. Al calcular la dosis efectiva por exposición externa recibida debido a la presencia de estos radioisótopos se concluyó que no hay riesgo radiactivo para la población que hace uso de estos balnearios. Se recomienda hacer un análisis más exhaustivo del complejo termal “El Salado” ubicado en Baños ya que fue el sitio donde más elementos radiactivos se hallaron y donde se encontraron valores más anómalos que en el resto de las fuentes.

PALABRAS CLAVE: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <MEDIO AMBIENTE>, <CARACTERIZACIÓN RADIOLÓGICA> <RADIONÚCLIDOS> <ALFA/BETA GRUESO> <ESPECTROMETRÍA GAMMA> <DETECTOR DE GERMANIO HIPER-PURO> <TUNGURAHUA (PROVINCIA)>.

ABSTRACT

The present investigation had as objective the radiological characterization of the thermal springs of the province of Tungurahua and the calculation of the external exposure that receives the population due to these waters. In this exploratory study, a single simple type sampling of the 19 most important thermal sources of the entire province was carried out, with the collection of physical chemical variables in situ, also a chemical treatment with nitric acid was given to preserve the samples until its measurement. Radioactivity of the water samples was performed, first the concentration of total activity (Bq / L) generated by the radioactive decay of alpha and beta emitters with alpha / beta counter equipment based on a silver doped zinc sulphide scintillator (ZnS (Ag)). Finding values of up to 2.45 Bq / L in gross alpha emissions and values of up to 0,440 Bq / L in gross beta emissions, as maximum values; in several samples it was considered that the radioactivity was in amounts not detectable by the equipment used. Gamma emission spectra were obtained from the thermal springs using a gamma spectrometer with a pure germanium coaxial detector (HPGE). The gamma-emitting radioisotopes of each sample were identified and quantified: lead 214 (^{214}Pb), bismuth 214 (^{214}Bi), polonium 210 (^{210}Po), potassium 40 (^{40}K) and actinium 228 (^{228}Ac). With concentrations from 2.5 Bq / L up to 281 Bq / L. When calculating the effective dose by external exposure received by the presence of these radioisotopes, it was concluded that there is no radioactive risk for the population that uses these spas. It is recommended to make a more exhaustive analysis of the "El Salado" spa located in Baños because it was the site where more radioactive elements were found and where more anomalous values were found than in the rest of the thermal springs.

PALABRAS CLAVE: <EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <ENVIRONMENT>, <RADIOLOGICAL CHARACTERIZATION > <RADIONUCLIDES> <GROSS COUNTING ALPHA/BETA> <GAMMA SPECTROMETRY> <HIPER-PURE GERMANIUM DETECTOR > <TUNGURAHUA (PROVINCE)>.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Tungurahua tiene muchos centros volcánicos activos, prueba de ello son las fuentes termales que se encuentran distribuidas a lo largo de todo el territorio provincial. La mayoría de las cuales son aprovechados por la población como balnearios recreativos y de relajación. Generalmente se hacen análisis químicos para determinar los elementos que contienen las aguas y saber sus propiedades. Un análisis físico-químico desde el punto de vista radiológico puede asegurar la integridad de la población ante posibles fuentes de exposición por radiación de origen natural.

Las aguas termales pueden contener diluidos elementos pesados que pueden ser radiactivos y seguir una cadena de decaimiento que da origen a más elementos radiactivos.

El Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva (VAR) que es parte de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) y ésta a la vez forma parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) cuenta con un espectrómetro gamma que es usado para monitoreo ambiental, industrial, agricultura, medicina, etc. Y debido a las prestaciones, responsabilidades y servicios del MEER, éste brinda seguridad radiológica al Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y en general a todo el público del territorio nacional, con estudios de caracterización radiológica como es el tema de este trabajo de investigación.

En el Capítulo I de este trabajo se hace un planteamiento formal del problema, se establecen los antecedentes que existen en esta línea de investigación, se justifica la necesidad de conocer las posibles fuentes de exposición radiactiva en aguas termales y se plantean los objetivos que se quieren alcanzar con este estudio.

En el Capítulo II se menciona el conocimiento básico necesario para realizar esta investigación, incluyendo los esquemas completos de desintegración de las series radiactivas naturales, las unidades radiológicas empleadas para caracterizar una muestra, los principios físicos de las emisiones de rayos gamma de ciertos elementos y la ubicación geográfica de la provincia de Tungurahua.

En el Capítulo III se detalla toda la parte experimental involucrada en el análisis de las aguas termales, información técnica del equipamiento empleado, los procedimientos, el diseño experimental, las mediciones realizadas para caracterizar radiológicamente las fuentes termales

de la provincia de Tungurahua, y también se ha esquematizado toda la información obtenida de los análisis.

Finalmente en el Capítulo IV se interpretan los resultados obtenidos en la parte experimental y se enuncian las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

La radiactividad es una propiedad intrínseca de ciertos elementos para emitir energía capaz de ionizar la materia (radiación ionizante), estos elementos están presentes desde el origen del planeta (radiactividad natural) o se sintetizan artificialmente en reactores nucleares. Sin embargo el conocimiento de la radiación ionizante como tal se remonta a 1895 con el descubrimiento de los rayos X. Desde entonces varios estudios se han realizado acerca de la radiactividad, J. Ignacio Dávila como parte de una investigación en la Universidad Autónoma de Nuevo León menciona que las primeras incursiones científicas para conocer el contenido radiológico del agua de lluvia datan de 1902, y que más tarde en 1904 se dieron a conocer datos acerca del análisis de aguas termales y de origen mineral en los cuales aparecen valores representativos de ^{226}Ra y ^{222}Rn . (Dávila, 2001)

En Estados Unidos, entre 1960 y 1970, se hizo una de las primeras investigaciones a gran escala sobre el contenido de Uranio en fuentes públicas de suministro de agua, obteniendo una actividad media de 0.067Bq/L con 20000 puntos de muestreo y una actividad máxima de 22.2 Bq/L. (Milvy, 1990) Otros estudios en Yugoslavia y Eslovenia se enfocaron principalmente en aguas de origen subterráneo, donde había alto contenido de ^{226}Ra cerca de las minas de Uranio y sobre todo en agua de pozos de regiones con manantiales de aguas termales y minerales. (Kobal, 1990)

En estudios de aguas superficiales del noroeste de España se encontraron ^{234}U , ^{238}U y ^{235}U , en concentraciones de 2.52 mBq/L, 1.77 mBq/L y 0.11 mBq/L respectivamente; además del hecho de que actividad de estos radioisótopos es mayor en verano que en invierno, lo cual se atribuyó al alto grado de evaporación, a la disminución del caudal y al incremento de la solubilidad de las sales por el aumento de la temperatura del agua. (Herranz, 1999)

En Croacia, un país con abundantes aguas termales, existen estudios con espectrometría gamma para medir la concentración de los isótopos de ^{226}Ra y ^{228}Ra , donde se encontraron valores entre 80.4 y 4550.0 Bq/m³ para ^{226}Ra y valores entre 27.0 y 2890.0 Bq/m³ para ^{228}Ra , los cuales fueron medidos en un período de 3 a 10 años. (Natural Radioactivity of Thermal Springs in Croatia, 1996). Además en balnearios termales de origen natural de algunos hoteles de China, se determinó que la concentración de radón es mayor en las áreas de las aguas termales que en las habitaciones y factores como la ineficiente ventilación contribuye a una exposición más alta de este gas. (Indoor radon levels in selected hot spring hotels in Guangdong, China, 2014)

En Ecuador, sobre radiactividad en aguas termales, existe un estudio de la Universidad Central para la determinación de radón en los 13 balnearios termales de las provincias de Imbabura y Pichincha, en el cual se utilizó el método de centelleo y se concluyó que la concentración es mayor en la fuente que en el balneario como tal. (Aragón Caiza, 2001)

Actualmente no existe una caracterización radiológica de las aguas termales de la provincia de Tungurahua. Sin embargo, la Secretaría del Agua, la cual se encarga de un manejo de los recursos hídricos, cuenta con un inventario de las fuentes termales principales, las cuales están dadas en concesión a personas o instituciones. A partir de este antecedente se puede recabar información radiológica de las fuentes y ver su incidencia epidemiológica en la población.

1.2. Planteamiento del problema

El agua proveniente del subsuelo, calentada con energía geotermal se denomina agua termal (*hot spring*). Las aguas termales durante su recorrido dentro de la corteza terrestre están en contacto con rocas eruptivas, tales como granitos, pórfidos de cuarzo y basalto, las cuales contienen elementos radiactivos (Radon activity measurements around Bakreswar thermal springs, 2010).

Los elementos radiactivos pueden presentar un riesgo para la salud (World Health Organization, 2011), por lo cual existen organismos internacionales tales como la Organización Internacional de energía atómica (OIEA), que elabora recomendaciones, es decir normas de referencia sobre seguridad radiológica además presta asistencia a los organismos reguladores nacionales; la Comisión Internacional de Protección Radiológica

(ICRP), que es un organismo de carácter científico y técnico, que formula las recomendaciones y cantidades límites para protección contra las radiaciones; y el *Comité científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica* (UNSCEAR), que evalúa y reporta los niveles y efectos de la exposición a las radiaciones ionizantes.

En Ecuador, debido a la subducción de la placa tectónica de Nazca que produjo el levantamiento de la cordillera de los Andes, y la consecuente fusión del manto debajo del continente en las partes más débiles de la corteza terrestre, existen muchos volcanes (Carrasco, 2012); lo cual da lugar a varias fuentes termales en las proximidades de estos centros eruptivos, estas fuentes son utilizadas como balnearios por la población. De manera especial en la provincia de Tungurahua, donde el cantón Baños es un referente a nivel nacional de este tipo de termas.

La posible existencia de isótopos radiactivos en las aguas termales es un riesgo potencial para los usuarios y el personal que labora en ellos, por lo cual el conocimiento, identificación y determinación de la concentración de los isótopos específicos que se encuentran en las termas de la provincia de Tungurahua, es indispensable para la salud y seguridad ocupacional de los individuos involucrados en esta actividad.

1.3. Justificación

- ***Justificación teórica***

En zonas volcánicas hay una alta probabilidad de encontrar elementos radiactivos, porque pueden ser expulsados a la superficie a través de las erupciones o bien las aguas subterráneas que entran en contacto con estos elementos pueden incorporarlos en forma de sólidos disueltos.

La radiación ionizante generada por los elementos radiactivos permite detectarlos utilizando varios mecanismos físicos y esta radiación puede ser interpretada en forma de dosis absorbida.

- ***Justificación metodológica***

Este estudio es viable debido a que:

El inventario de las fuentes termales de la provincia de Tungurahua, que posee la Secretaría del Agua, es una útil línea base para geolocalización y tratamiento geográfico de los puntos a muestrear.

Para el muestreo del agua de cada fuente se tiene el respaldo del Laboratorio de Aguas de la ESPOCH que cuenta con un equipo multiparámetro para recabar información físico-química, también los reactivos para acidificar las muestras, lo cual es un requerimiento físico necesario para el análisis radiológico.

Se cuenta con el respaldo del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) a la cual pertenece la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN) que posee un espectrómetro gamma en el Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva. Además entre las prestaciones, responsabilidades y servicios del MEER está brindar apoyo a la seguridad radiológica del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y en general a todo el público del territorio nacional. También se cuenta con la colaboración del Centro de Energías Alternativas y Ambiente (CEAA) de la ESPOCH en cuanto a la logística del estudio.

- ***Justificación práctica***

Como resultado de estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y por la Agencia Internacional para la investigación del Cáncer (IARC), se conoce que las altas concentraciones de elementos radiactivos son considerados como agentes adversos para la salud, las aguas termales por su procedencia volcánica es probable que los contengan, por lo tanto la población que hace uso de balnearios termales y las personas que trabajan en ellos están potencialmente expuestos, por este motivo es importante identificar, evaluar y cuantificar estos elementos radiactivos.

Ya que la probable presencia de elementos radiactivos en las aguas termales son un tipo de riesgo potencial para la población, el estudio contribuye con el cumplimiento del Objetivo 3 del *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*, que procura el fortalecimiento de la vigilancia y control de posibles riesgos que causen morbilidad o mortalidad evitable.

Además este estudio brindaría datos estadísticos para la elaboración de límites y normas ante la exposición de la población que utiliza aguas termales. Y ayudaría a la prevención e información sobre los riesgos que representan los elementos radiactivos.

1.4. Objetivos

▪ *Objetivo general*

Caracterizar radiológicamente las aguas termales de la provincia de Tungurahua utilizando espectrometría gamma y calcular la exposición externa debida a los elementos radioactivos.

▪ *Objetivos específicos*

- Georreferenciar y dar un procesamiento geográfico a las fuentes termales de la provincia de Tungurahua, y correlacionarlo con datos geológicos.
- Identificar y caracterizar cada uno de los radioisótopos existentes en las fuentes termales de la provincia de Tungurahua.
- Calcular la exposición externa debida a los radioisótopos que se identifiquen en las aguas termales de la provincia de Tungurahua.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Radioactividad Natural

Se conocen aproximadamente 2500 núclidos, de los cuales, menos de 300 son estables, el resto de isótopos se desintegran para formar otros núclidos, en este proceso emiten partículas y radiación electromagnética y esto se conoce como radiactividad. En la Figura 1-2. se puede apreciar la tendencia que siguen los isótopos estables en función del número de protones y neutrones. (Young, y otros, 2009)

Existen muchos elementos radiactivos en la naturaleza, por ejemplo aquellos que están incorporados en los seres vivos como el ^{14}C y el ^{40}K , el primero es un radioisótopo cosmogénico atmosférico, debido a que se forma a partir del ^{14}N , cuando este es bombardeado por rayos cósmicos primarios o secundarios en la alta atmósfera, luego por fenómenos atmosféricos se precipita hacia la corteza terrestre y es incorporado a los seres vivos. Por otro lado el ^{40}K además de encontrarse incorporado en los seres vivos puede aparecer en diversos materiales e incluso en el agua. Existen más radioisótopos cosmogénicos generados en la atmósfera, como el ^3H , el ^{32}Si , ^7Be o el ^{36}Cl , entre otros, estos isótopos también pueden precipitar hacia la corteza terrestre y ser encontrados en muestras de agua de diferente origen; y los radioisótopos de números atómicos más elevados como el ^{238}U o el ^{235}U que fueron producidos por nucleosíntesis en estrellas supernovas y se incorporaron al planeta en su formación, también pueden ser encontrados en fuentes de agua. (Grau Carles, 2013)

Por otro lado, los isótopos radiactivos de origen artificial se los produce haciendo colisionar una partícula (protón, neutrón, deuterón o alfa) con el núcleo de un isótopo determinado, como resultado el elemento diana se convierte en otro isótopo, liberando energía y emitiendo nuevas partículas. Ejemplos de elementos radiactivos generados artificialmente son el ^{137}Cs y el ^{131}I . Este tipo de elementos artificiales son utilizados por ejemplo para calibrar equipos de detección de radiación. Pero también pueden ser hallados en fuentes de agua donde ha habido contaminación debido a actividad humana. (Grau Carles, 2013).

Por mencionar un ejemplo, de los tres isótopos más estudiados del hidrógeno tenemos que: el protio ${}^1_1\text{H}$ es estable, el deuterio ${}^2_1\text{H}$ es estable y el tritio ${}^3_1\text{H}$ es radiactivo con una vida media de 13 años. Los tres isótopos incluido el radiactivo son de origen natural y se los puede encontrar en las fuentes de agua, en varias proporciones, dependiendo de la abundancia isotópica de cada elemento. (Young, y otros, 2009)

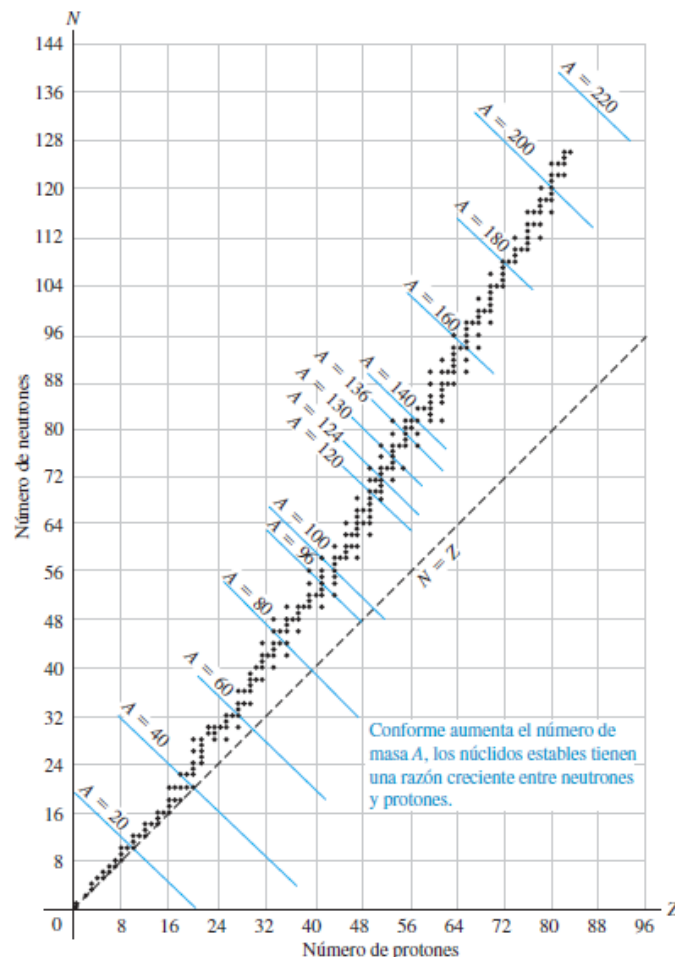


Figura 1-2. Esquema de Segré en la que se puede apreciar el número de protones y neutrones según la estabilidad nuclear.

Fuente: (Young, y otros, 2009)

2.2. Series radiactivas naturales

De los elementos radiactivos que están presentes desde la formación del planeta (primordiales), solo aquellos con vidas medias comparables con la edad de la Tierra siguen presentes en diferentes proporciones y siguen generando más elementos radiactivos debido a su decaimiento en serie.

Los elementos primordiales de origen natural, se dividen en 2 grupos:

- Elementos primordiales que decaen directamente en un núclido estable (no en serie) (Ver Tabla 1-2.).
- Elementos primordiales que decaen a través decaen en cadena siguiendo un patrón de probabilidades (serie), y distinguimos la del Uranio ($4n+2$), Actinio($4n+3$) y Torio ($4n$) (Ver Tabla 2-2.).

La exposición a la radiación en exteriores, es causada principalmente por ^{226}Ra , Uranio, ^{232}Th , ^{40}K y ^{222}Rn ; debida a su presencia en la corteza terrestre. (Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment, 2009) (J. Bonifacio, 1992)

Tabla 1-2. Radionúclidos no en serie

Nuclide	Relative abundance (%)	Daughter nuclide	Half-life (years)	Major radiation
^{40}K	0.0118	^{40}Ar , ^{40}Ca	1.28×10^9	β^- (89%), EC (11%)
^{50}V	0.24	^{50}Ti , ^{50}Cr	6.00×10^{15}	β^- (30%), EC (70%)
^{87}Rb	27.85	^{87}Sr	4.70×10^{10}	β^-
^{115}In	96.67	^{115}Sn	5.00×10^{14}	
^{123}Te	0.87	^{123}Sb	1.20×10^{13}	
^{138}La	0.089	^{138}Ba , ^{138}Ce	1.10×10^{11}	
^{142}Ce	11.7	^{138}Ba	5.00×10^{15}	
^{144}Nd	23.8	^{140}Ce	2.40×10^{15}	
^{147}Sm	15.1	^{143}Nd	1.06×10^{11}	
^{148}Sm	11.35	^{144}Nd	1.20×10^{13}	
^{149}Sm	14.0	^{145}Nd	4.00×10^{14}	
^{152}Gd	0.205	^{148}Sm	1.10×10^{14}	
^{156}Dy	0.057	^{152}Gd	2.00×10^{14}	
^{174}Hf	0.163	^{170}Yb	4.30×10^{15}	
^{176}Lu	2.588	^{176}Hf	2.20×10^{10}	
^{187}Re	62.93	^{187}Os	4.00×10^{10}	
^{190}Pt	0.0127	^{186}Os	7.00×10^{11}	
^{204}Pb	1.4	^{200}Hg	1.40×10^{17}	

Fuente: (Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment, 2009)

Tabla 2-2. Radionúclidos en serie

Nuclide	Half-life	Radiation	Nuclide	Half-life	Radiation
Uranium series			Thorium series		
²³⁸ U	4.5×10^9 years	α, γ	²³² Th	1.4×10^{10} years	α, γ
²³⁴ Th	24 days	β, γ	²²⁸ Ra	6.7 years	β
^{234m} Pa	1.2 min	β, γ	²²⁸ Ac	6.13 h	β, γ
²³⁴ U	2.5×10^5 years	α, γ	²²⁸ Th	1.9 years	α, γ
²³⁰ Th	8.0×10^4 years	α, γ	²²⁴ Ra	3.64 days	α, γ
²²⁶ Ra	1,622 years	α, γ	²²⁰ Rn	55 s	α, γ
²²² Rn	3.8 days	α, γ	²¹⁶ Po	0.16 s	α
²¹⁸ Po	3.05 min	α	²¹² Pb	10.6 h	β, γ
²¹⁴ Pb	26.8 min	β, γ	²¹² Bi	60.5 min	β, α, γ
²¹⁸ At	1.5–2.0 s	α	²¹² Po	3.04×10^{-7} s	α
²¹⁴ Bi	19.7 min	β, α	²⁰⁸ Tl	3.1 min	β, γ
²¹⁴ Po	1.64×10^{-4} s	α, γ	²⁰⁸ Pb	Stable	
²¹⁰ Tl	1.3 min	β, γ			
²¹⁰ Pb	22 years	β, γ			
²¹⁰ Bi	5.0 days	β, α			
²¹⁰ Po	138 days	α, γ			
²⁰⁶ Tl	4.2 min	β			
²⁰⁶ Pb	Stable				
Actinium series			Neptunium series		
²³⁵ U	7.1×10^8 years	α, γ	²⁴¹ Pu	14.35 years	β, α, γ
²³¹ Th	25.64 h	β, γ	²³⁷ Np	2.144×10^6 years	α, γ
²³¹ Pa	3.25×10^4 years	α, γ	²³³ Pa	26.967 days	β, γ
²²⁷ Ac	21.6 years	β, α, γ	²³³ U	1.592×10^5 years	α, γ
²²⁷ Th	18.2 days	α, γ	²²⁹ Th	7,300 years	α, γ
²²³ Fr	22 min	β, α, γ	²²⁵ Ra	14.9 days	β, γ
²²³ Ra	11.4 days	α, γ	²²⁵ Ac	10 days	α, γ
²¹⁹ Rn	4.0 s	α, γ	²²¹ Fr	4.9 min	α, γ
²¹⁵ Po	1.77×10^{-3} s	α, β	²¹⁷ Ac	6.9×10^{-8} s	α, γ
²¹¹ Pb	36.1 min	β, γ	²¹³ Bi	2.5×10^{-2} s	β, α, γ
²¹⁵ At	$\sim 10^{-4}$ s	α	²¹³ Po	4.2×10^{-6} s	α, γ
²¹¹ Bi	2.16 min	α, β, γ	²⁰⁹ Tl	2.20 min	β, γ
²¹¹ Po	0.52 s	α, γ	²⁰⁹ Pb	3.253 h	β
²⁰⁷ Tl	4.79 min	β, γ	²⁰⁹ Bi	Almost stable	
²⁰⁷ Pb	Stable	—			

Fuente: (Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment, 2009)

2.3. Formas de decaimiento de los elementos radiactivos

Los elementos radiactivos se desintegran emitiendo fotones y partículas; de los fotones: los rayos gamma y los rayos X son utilizados en espectrometría gamma para identificar elementos, ya que cada elemento que se desintegra emite fotones a energías específicas.

- Desintegración beta

En este tipo de desintegración se emite una partícula beta ya sea negativa (electrón), positiva (positrón) o se produce una captura electrónica por el núcleo del elemento, y conjuntamente se da la emisión de un neutrino (ν), además ocurre la liberación de rayos gamma (γ).

La reacción viene dada de este forma:



En la Figura 2-2 se muestran el esquema de desintegración del ${}^{137}\text{Cs}$ (izquierda) con la emisión γ típica del ${}^{137m}\text{Ba}$ y emisión β^- y el esquema de desintegración del ${}^{22}\text{Na}$ (derecha) con emisión β^+ y captura electrónica, también con su respectiva emisión γ .

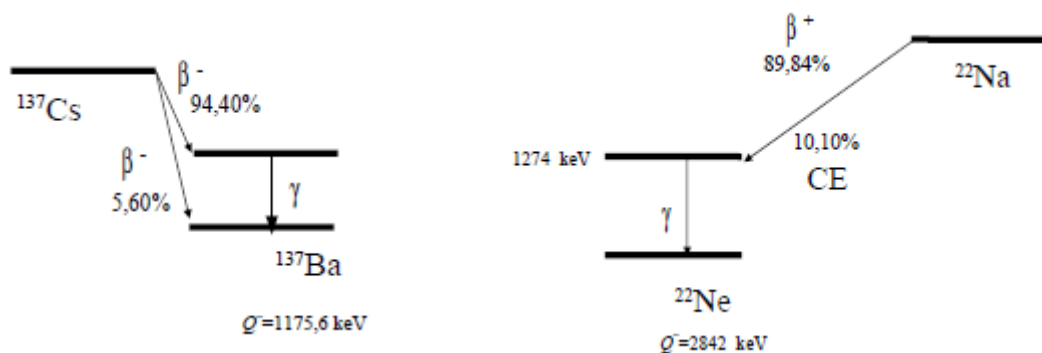


Figura 2-2. Esquemas de decaimiento simplificados de varios elementos radiactivos con sus emisiones gamma más energéticas.

Fuente: (Grau Carles, 2013)

Un solo elemento puede emitir algunos rayos gamma característicos de diferentes intensidades para eliminar el exceso de energía y llegar a un estado des excitado.

En el caso de que no se emitan rayos γ , la transición se llama beta pura. Y a este tipo de emisores beta puros no se los puede identificar por espectrometría de rayos gamma como es el caso del ^{14}C .

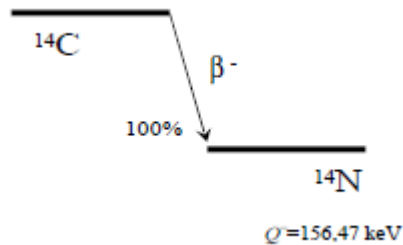


Figura 3-2. Esquema de desintegración del ^{14}C .

Fuente: (Grau Carles, 2013)

- Desintegración alfa

Esta desintegración emite una partícula alfa (núcleo de helio) es decir dos protones y dos neutrones, esta suele producirse en radionúclidos de número atómico elevado, y también viene acompañada de la emisión de rayos gamma, rayos X y electrones Auger a causa de la conversión interna.

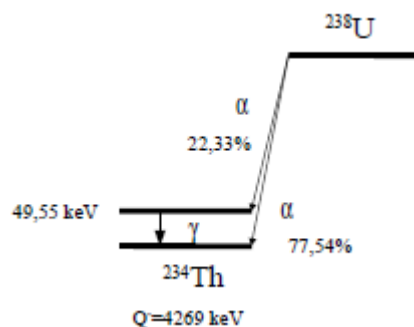


Figura 4-2. Esquema de desintegración del ^{238}U con emisión α acompañada de emisión γ .

Fuente: (Grau Carles, 2013)

Las diferentes líneas espectrales: rayos gamma (G) y rayos X (X) (Ver Figura 5-2) derivados de estas transiciones nucleares son los que se detectan en la técnica de espectrometría gamma, por esta razón, se utilizan librerías de elementos radiactivos con sus líneas espectrales características de emisión. La librería utilizada en esta investigación ha tomado en cuenta a los elementos radiactivos mencionados en el apartado anterior ya sea en serie o no en serie, primordiales o cosmogénicos.

Energy	Energy abs. error	Intensity	Intensity abs. error	Line type	Treated
U-238 4.468E+09[year] 5.1985E-05					
49.55	0.06	0.064	0.008	G	
113.50	0.10	0.0102	0.0015	G	
Ra-226 1600[year] 0.036686					
11.7	0.9	0.88	0.10	X (L)	
34.8	1.6	0		G	
80.349		0.000438	0.000023	X (KA3)	
81.069	0.020	0.198	0.009	X (KA2)	
83.787	0.020	0.328	0.012	X (KA1)	
94.247		0.0395	0.0018	X (KB3)	
94.868		0.075	0.003	X (KB1)	
95.449		0.00248	0.00014	X (KB5)	
97.53		0.0283	0.0013	X (KB2)	
97.853		0.0007	0.0004	X (KB4)	
98.257		0.0058	0.0006	X (KO)	
98.389		0.00067	0.00008	X (KP)	
186.211	0.013	3.64	0.04	G	
187.10	0.20	0		G	
262.27	0.05	0.0050	0.0005	G	
414.60	0.05	0.000300	0.000010	G	
449.37	0.10	0.000190	0.000010	G	
600.66	0.05	0.000490	0.000010	G	

Figura 5-2. Emisores alfa de origen natural cargados en el software NuclideMaster, mostrando las energías de sus líneas espectrales y la intensidad.

Fuente: (SCAN, 2016)

2.4. Magnitudes para caracterizar radiológicamente una muestra

Contenido radiológico

Al ser la desintegración radiactiva un fenómeno estadístico, donde matemáticamente el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo (dN/dt) es proporcional al número de átomos radiactivos presentes como se muestra en la ecuación (2.2), por tal razón se puede establecer una ecuación con su respectiva constante de proporcionalidad (2.3).

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \propto N \quad (2.2)$$

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad (2.3)$$

Donde λ es la constante de decaimiento y el menos indica el decremento con el tiempo.

Dando un tratamiento diferencial a la ecuación (2.3), tenemos que:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

De esto obtenemos la expresión matemática que caracteriza el fenómeno de la actividad en la ecuación (2.5) y (2.6):

$$A = -\lambda N \quad (2.5)$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (\text{Bq}) \quad (2.6)$$

Cuya unidad en el Sistema Internacional (SI) es el becquerel (Bq) que equivale a 1 desintegración por segundo (dps), es importante también saber que 1 curie(Ci)=3.7X10¹⁰ Bequerelios (Bq). (Attix, 1986)

La actividad describe las desintegraciones radiactivas que experimenta una sustancia. Es más común caracterizar una muestra expresando su concentración de actividad, cuando se refiere a un volumen específico. Esto vendría dado en Bq/L o hablando en términos de actividad específica en Bq/g. Así hay certeza de cuán radiactiva es una muestra concreta. En este estudio en particular los resultados se expresarán en Bq/L. También es importante considerar la vida media ($T_{1/2}$) de los elementos radiactivos, que es el tiempo que requiere una sustancia para que su actividad decaiga a la mitad de su valor inicial, lo cual viene dado en la ecuación (2.7). (Khan, 2003)

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (2.7)$$

Dentro de estos fenómenos de desintegración se puede dar otros fenómenos importantes para caracterizar una muestra como el equilibrio radiactivo, el cual se da cuando el radionúclido denominado padre, después de cierto tiempo tiene la misma actividad que su radionúclido hijo. Si la vida media del padre es mucho más grande que la del hijo se da el *equilibrio secular* y si la vida media del padre no es tan grande como la del hijo se da el *equilibrio transiente*.

De lo cual se deduce:

$$A_2 = A_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1)t}) \quad (2.8)$$

ò

$$A_2 = A_1 \frac{T_1}{T_1 - T_2} (1 - e^{-0.693 \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} t}) \quad (2.9)$$

(Khan, 2003)

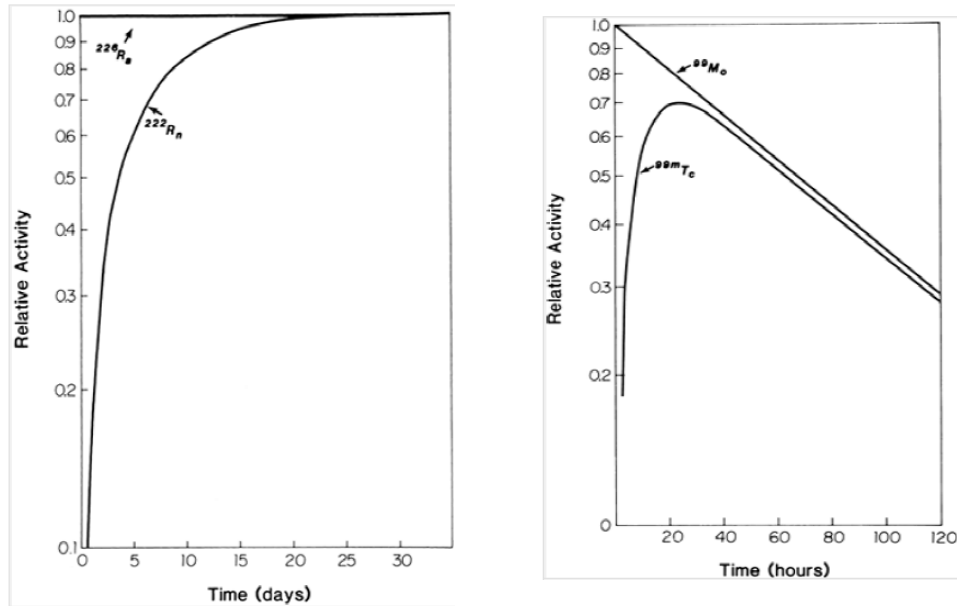


Figura 6-2. Equilibrio secular (izquierda) con su padre ^{226}Ra ($T_{1/2}=1622$ años) y su hijo ^{222}Rn ($T_{1/2}=3.8$ días); Equilibrio transiente (derecha) con su padre ^{99}Mo ($T_{1/2}=67$ h) y su hijo $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2}=6$ h).

Fuente: (Khan, 2003)

2.5. Magnitudes dosimétricas

Cuando haces de fotones o de partículas de elementos radiactivos pasan a través de un medio, la interacción se traduce como energía transferida al medio, la cual se suele cuantificar con el Gray ($\text{Gy}=\text{J/kg}$), magnitud denominada **Dosis Absorbida**; esta energía transferida puede producir ionizaciones, efecto fotoeléctrico, efecto Compton, producción de pares, choques elásticos, inelásticos, dependiendo de la naturaleza del haz. (Khan, 2003)

Si el medio absorbente consiste en tejidos corporales, la cantidad de energía depositada podría causar efectos físicos, químicos y biológicos. Una dosis de 1 Gy produce unas 10^5 ionizaciones en un volumen celular típico de 10 μm de diámetro, los enlaces químicos rotos de átomos y moléculas del medio lleva a la aparición de radicales libres altamente reactivos y si las lesiones son complejas a nivel biológico y no pueden ser reparadas conduce a muerte celular o daños irreversibles en el ADN. Dependiendo de la dosis de radiación que recibe un organismo se pueden dar efectos determinísticos como el síndrome de irradiación aguda que se presenta con efectos tales como quemaduras y pérdida de cabello; o efectos estocásticos como el cáncer. (Guirado, 2003)

La magnitud de dosis (Gy) no es suficiente para cuantificar la energía depositada en la materia; ya que, 1 Bq de radiactividad entrega diferente energía al medio que atraviesa dependiendo de su naturaleza. Esto es debido a las interacciones secundarias que desencadena. Una partícula cargada va a ocasionar más interacciones secundarias que un fotón. Por eso se ha establecido una unidad llamada **DOSIS EQUIVALENTE (H)**, la cual toma en cuenta las diferencias entre los tipos de radiación y sus impactos biológicos y los compara directamente. Se calcula multiplicando la dosis absorbida (D) por un factor de evaluación W_R que depende del tipo de radiación como se muestra en la ecuación (2.11). (World Health Organization, 2011)

$$H = D * W_R \quad (\text{Sv}) \quad (2.11)$$

Tabla 3-2. Factor de evaluación W_R de acuerdo al tipo de radiación

Radiation type	Radiation weighting factor, w_R
Photons	1
Electrons and muons	1
Protons and charged pions	2
Alpha particles, fission fragments, heavy ions	20
Neutrons	A continuous function of neutron energy

Fuente: (ICRP PUBLICATION 103: RECOMMENDATIONS OF THE ICRP, 2008)

Debido al criterio de la radiosensibilidad biológica de un organismo expuesto a radiación ionizante, la magnitud de probabilidad de que pueda ocurrir un efecto estocástico (cáncer generalmente) se lo cuantifica con la magnitud dosimétrica llamada **DOSIS EFECTIVA (E)**, la cual viene definida como la sumatoria de las dosis equivalente (H) multiplicado por el factor de ponderación W_T como se muestra en la ecuación (2.12).

$$E = \sum H_T * W_T \quad (\text{Sv}) \quad (2.12)$$

Tabla 4-2. Factor de ponderación W_T de acuerdo al órgano o tejido

Organ /tissue	ICRP (2007)	w_T ICRP (1991)
Breast	0.12	0.05
Bone marrow	0.12	0.12
Colon ^a	0.12	0.12
Lung	0.12	0.12
Remainder	0.12 ^b	0.05 ^c
Stomach	0.12	0.12
Gonads ^d	0.08	0.20
Bladder	0.04	0.05
Liver	0.04	0.05
Oesophagus	0.04	0.05
Thyroid	0.04	0.05
Bone surfaces	0.01	0.01
Brain	0.01	—
Salivary glands	0.01	—
Skin	0.01	0.01

^aThe dose to the colon is taken to be the mass-weighted mean of ULI and LLI doses, as in ICRP 60.

^bShared by remainder tissues (14 in total, 13 in each sex) are adrenals, ET, gall bladder, heart, kidneys, lymphatic nodes, muscle, oral mucosa, pancreas, prostate (male), SI, spleen, thymus, uterus/cervix (female).

^cShared by remainder tissues—the five most highly exposed.

^dThe W_T for gonads is applied to the mean of the doses to testes and ovaries.

Fuente: (ICRP PUBLICATION 103: RECOMMENDATIONS OF THE ICRP, 2008)

2.6. Exposición a fuentes de radiación natural

La dosis que recibe un individuo debido a la radiactividad natural del ambiente varía ampliamente, el promedio mundial es alrededor de 2.4 mSv/año (ver tabla 5-2), pero en algunos lugares del mundo es 10 veces mayor sin haber visto ningún incremento observable de riesgos a la salud en estudios a largo plazo (Cancer mortality in the high background radiation areas of Yangjiang, China, 2000).

Tabla 5-2. Dosis de radiación promedio de fuentes de origen natural

Source	Worldwide average annual effective dose (mSv)	Typical annual effective dose range (mSv)
External exposure		
Cosmic rays	0.39	0.3–1 ^a
Terrestrial radiation (outdoors and indoors)	0.48	0.3–1 ^b
Internal exposure		
Inhalation (mainly radon)	1.26	0.2–10 ^c
Ingestion (food and drinking-water)	0.29	0.2–1 ^d
Total	2.4	1–13

^a Range from sea level to high ground elevation.

^b Depending on radionuclide composition of soil and building material.

^c Depending on indoor accumulation of radon gas.

^d Depending on radionuclide composition of foods and drinking-water.

Fuente: (UNSCEAR, 2008)

La exposición a estas fuentes naturales puede ser interna ya sea por ingestión o inhalación, y/o exposición externa por contacto con un tejido. Para calcular la exposición en términos de dosis existen los coeficientes calculados W_R y W_T , para cada radioisótopo y para cada tipo de tejido, (se encuentran recopilados en publicaciones de los organismos internacionales), estos coeficientes permiten calcular la dosis equivalente y dosis efectiva para el público y el personal ocupacionalmente expuesto, con el objetivo de comprobar que no sobrepasen los límites establecidos por los organismos internacionales (ver tabla 6-2). En la Figura 7-2 se puede ver los coeficientes para cálculos radiológicos del Bi-214, para información sobre otros isótopos revisar Anexo B.

Tabla 6-2. Límites de dosis anual efectiva y equivalente

Type of limit	Occupational	Public
Effective dose ^a	20 mSv per year, average over defined periods of 5 y ^c	1 mSv in a year ^f
Annual equivalent doses		
Lens of the eye ^b	150 mSv	15 mSv
Skin ^{c,d}	500 mSv	50 mSv
Hands and feet	500 mSv	

^aLimits on effective doses are for the sum of the relevant effective doses from external exposure in the specified time period and the committed effective doses from intakes of radionuclides in the same period. For adults, the committed effective dose is computed for a 50-y period after intake, whereas for children it is computed for the period up to the age of 70 y.

^bThis limit is currently being reviewed by an ICRP Task Group.

^cThe limitation on effective doses provides sufficient protection for the skin against stochastic effects.

^dAveraged over 1 cm² area of skin regardless of the area exposed.

^eWith the further provision that the effective doses should not exceed 50 mSv in any single year. Additional restrictions apply to the occupational exposure of pregnant women.

^fIn special circumstances, a higher value of effective doses could be allowed in a single year, provided that the average over 5 y does not exceed 1 mSv per year.

Fuente: (ICRP PUBLICATION 103: RECOMMENDATIONS OF THE ICRP, 2008)

Bismuth - 214

Half life: 19.83 minutes
Specific activity: $1.64 \times 10^{18} \text{ Bq.g}^{-1}$

$^{214}\text{Bi}_{83}$

Risk group: 3
Risk colour: Yellow

Main emissions (keV)		Gamma or X		Beta (E _{max})		Electrons		Alpha	
		E	%	E	%	E	%	E	%
E1		610	46	1540	18	592	<1		
E2		1764	16	1892	8	1027	<1		
E3		2205	5	3270	17	1323	<1		
% omitted		54		57		1			

Exemption levels	
Quantity (Bq)	-
Concentration (Bq.g ⁻¹)	-

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	-
IAEA ST1 A ₂ value	-

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h ⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m ⁻² (as appropriate)					
Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe	
Betas, electrons (skin dose)	Betas, electrons (skin)				
8.3E-02	10 cm 1.2E-01				
	1 m 3.5E-02				
	Photons (skin)				
	10 cm 1.2E-02				
	1 m 8.3E-03				
Gammas, X rays (deep tissue dose)	Photons (deep dose)				
2.3E-03	10 cm 1.1E-02	100 cm 2.4E-04	8.6E-01	2.6E+01	
	1 m 7.9E-03				

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION			
Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)		Detection	
Uniform deposit (1 kBq.cm ⁻²)	2.3E+00	Recommended probes*	
0.05 ml droplet (1 kBq)	1.2E+00		
		Alpha	
		Beta	++
		Gamma	++
		X rays	
		Derived limits (Bq.cm ⁻²)	
		Removable contamination	
		4E-9	
		Fixed contamination	
		4E-7	

* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

SHIELDING (mm)		
Betas and electrons (Total absorption)		
Glass	8.9	
Plastic	14.3	
Gamma and X rays (half and tenth value thickness)		
	½	1/10
Lead	27	68
Steel	43	101

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS					
COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq ⁻¹)					
Ingestion	f _i	Inhalation	1 µm	5 µm	
All compounds	0.050	1.1E-10	Bismuth nitrate	F	7.2E-09
			All unsp. compounds	M	1.4E-08
				S	2.1E-08
Highest dose organ	Lungs	20 mSv A ₁ I ₁ (Bq)	1.8E+08	20 mSv A ₁ I ₁ (Bq)	9.5E+05

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)						
Subject to external exposure requirements which may be more restrictive						
PHYSICOCHEMICAL STATE	Volatility factor (k)	Supervised area		Controlled area		
		Bench	Fume hood	Bench	Fume hood	Glove box
All compounds	0.01	3E+05	3E+06	1E+06	1E+07	1E+09

Figura 7-2. Especificaciones radiológicas del Bi-214.

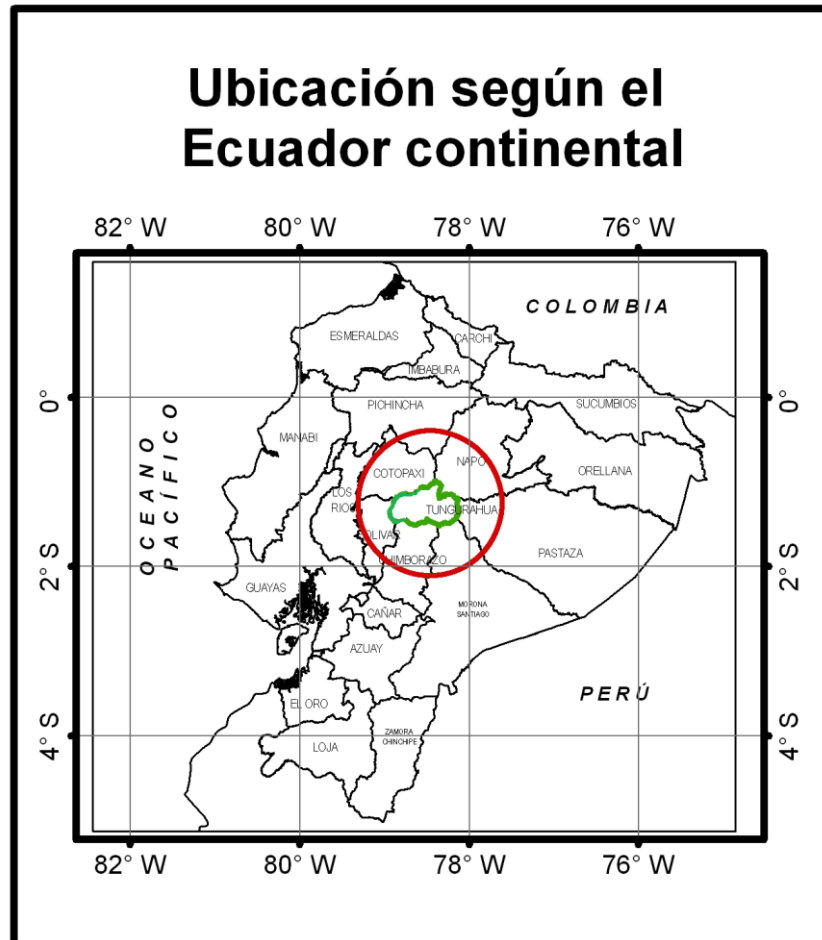
Fuente: (Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook, 2002)

2.7. Detección del contenido radiológico en agua

Para medir las emisiones radiactivas se utilizan diversas técnicas de detección como centelladores sólidos (contador alfa-beta), centelleo líquido, semiconductores (espectrometría gamma), cámaras de ionización, etc. La OMS sugiere valores máximos para contenido de emisores alfa y beta en agua de consumo: actividad alfa total de 0,5 Bq/L y actividad beta total de 1 Bq/L. No existen límites de concentración de actividad para aguas termales, así que se utilizará como valor de referencia el valor del agua de consumo. Y para exposición externa generada por cada radioisótopo organismos como el ICRU sugieren valores máximos también. En este estudio se ha utilizado un contador alfa-beta y un espectrómetro gamma.

2.8. Aguas termales de Tungurahua

Para visualizar gráficamente la Provincia de Tungurahua dentro del Ecuador continental, partimos de su división político-administrativa, ya que es importante considerar la ubicación geográfica de la provincia, para sectorizar la zona en la que se llevó a cabo el estudio.



Mapa 1-2. Ubicación de la provincia de Tungurahua según la división político administrativa del Ecuador continental.

Fuente: (<http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2324>)

Con ayuda de un GPS se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada fuente termal en el sistema WGS 1984 UTM Zona 17S. Para la recolección de muestras se tomó en cuenta el nombre de la fuente termal y se le asignó un código numérico. En la Tabla 7-2. se encuentran detalladas las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo, el código numérico con el que se las recolectó y el código de ingreso que se utilizó en el laboratorio.

Tabla 7-2. Coordenadas geográficas de cada fuente termal de la provincia de Tungurahua.

COD	COD SCAN	Fuente termal	X	Y
1	SCAN-ARAD-2016-343-01	Cunugyacu 1	737475	9851984
2	SCAN-ARAD-2016-343-02	Cunugyacu 2	737471	9851990
3	SCAN-ARAD-2016-343-03	Cunugyacu piscina	737414	9852029
4	SCAN-ARAD-2016-343-04	Aguaján	753929	9858344
5	SCAN-ARAD-2016-343-05	Huapante tanque	771355	9880026
6	SCAN-ARAD-2016-343-06	Huapante represa	771385	9880081
7	SCAN-ARAD-2016-343-07	Calera pantano	777565	9840495
8	SCAN-ARAD-2016-343-08	Calera acequia	777491	9840512
9	SCAN-ARAD-2016-343-09	Calera río	777571	9840802
10	SCAN-ARAD-2016-343-10	Santa clara	787155	9844982
11	SCAN-ARAD-2016-343-11	Santa Ana cueva	788464	9845404
12	SCAN-ARAD-2016-343-12	Santa Ana chorrera	788450	9845411
13	SCAN-ARAD-2016-343-13	Virgen sur	787394	9845223
14	SCAN-ARAD-2016-343-14	Virgen norte	787394	9845229
15	SCAN-ARAD-2016-343-15	Salado tanque	785668	9844454
16	SCAN-ARAD-2016-343-16	Salado acequia	785655	9844450
17	SCAN-ARAD-2016-343-17	Salado río	785651	9844467
18	SCAN-ARAD-2016-343-18	Salado piscina cubierta	785723	9844546
19	SCAN-ARAD-2016-343-19	Salado piscina descubierta	785715	9844546

Fuente: (CEAA-ESPOCH & SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Basado en estas coordenadas geográficas se construyeron mapas descriptivos que indican exactamente donde se localizan las fuentes termales dentro de la provincia de Tungurahua, conjuntamente con fotos satelitales. (Ver Anexo A).

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y EXPERIMENTACIÓN

3.5. Características de equipos experimentales

En esta investigación se utilizaron dos equipos para la caracterización radiológica de las aguas termales, un contador alfa/beta para la detección de las emisiones radiactivas alfa/beta gruesas y un espectrómetro gamma para identificar y cuantificar los emisores gamma contenidos en la muestra.


3.5.1. Contador de radiación alfa y beta grueso

El contador de muestras Alfa/Beta modelo 43-10-1 de marca LUDLUM cuenta con un detector y bandeja de muestras. El detector es un "phoswich" ('phosphor sándwich), es decir, una combinación de centelladores con características de forma de pulso disímiles acopladas ópticamente entre sí y a un fotomultiplicador común. El análisis de la forma del pulso distingue las señales de los dos centelladores, identificando en qué centellador ocurrió el evento.

La bandeja de muestras es capaz de soportar hasta un filtro o una plancheta de 5,1 cm de diámetro. (Ludlum Measurements, INC)

Tabla 8-3. Especificaciones técnicas del detector 43-10-1 de emisiones alfa/beta.

Contador de muestras Alfa/Beta - Modelo 43-10-1
TIPO DE DETECTOR: centellador de Sulfuro de zinc dopado con plata (ZnS (Ag)) adherido a un disco centellador de plástico
TUBO FOTOMULTIPLICADOR: 5.1 cm
VOLTAGE DE OPERACIÓN: 500 to 1200 voltios
VENTANA: 0.4 mg/cm ²


EFICIENCIA (4π): 37% para ^{239}Pu ; 32% para ^{230}Th ; 39% para ^{238}U ; 5% para ^{14}C ; 27% para ^{99}Tc ; 29% para ^{137}Cs ; 26% para $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$
<p>BACKGROUND:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alfa: 3 cpm o menos • Beta: 80 cpm
SOPORTE DE LA MUESTRA: bandeja de aluminio anodizado con anillo de muestreo para permitir muestras de 2,5 cm o de 5,1 cm de diámetro.
TAMAÑO DE LA MUESTRA (máximo): 5.1 x 0.9 cm
TAMAÑO DEL DETECTOR: 23.6 x 11.4 x 23.6 cm
PESO: 1.9 kg


Fuente: (Ludlum Measurements,INC)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

El detector viene acoplado a un procesador que recibe e interpreta todas las señales eléctricas producidas por la ionización, el cual es un contador electrónico de muestras de tipo escalador. Cuenta con pantallas LCD retroiluminadas independientes para apoyar el conteo discriminado de muestras alfa y beta. El sistema cuenta con sustracción de fondo, alarmas alfa / beta separadas, modos de funcionamiento cpm / dpm y una función de temporizador.

Tabla 9-3. Especificaciones técnicas del contador electrónico 43-10-1 de emisiones alfa/beta.

Escalador Alfa/Beta - Modelo 3030E	
ESCALADORES:	Dos. Pantallas LCD de seis dígitos con luces traseras que proporcionan un rango de 0-999999 recuentos
LINEARIDAD DE ESCALERA:	lectura dentro del 2% del valor verdadero
AJUSTES DEL CONTADOR DE TIEMPO:	0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10 y 60 minutos.
AUDIO:	altavoz incorporado tipo unimorph con control de volumen para proporcionar un audio de clic-por-evento de doble tono.
ALTO VOLTAJE:	ajustable desde 200-2500 voltios
UMBRALES:	
	beta: -4 mV
	alfa: -120 mV
	ventana beta: -50 mV
	ventana alfa: . -120 mV
DATA-OUTPUT:	puerto RS-232 de nueve pines
	

Fuente: (Ludlum Measurements,INC)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

3.5.2. *Espectrómetro gamma*

El espectrómetro gamma GCD-40180X con blindaje de plomo y enfriado por nitrógeno líquido que se encuentra en el laboratorio de la SCAN está destinado a la detección y monitoreo radiológico de objetos ambientales en energía nuclear, productos de la industria, agricultura, medicina, etc.

Su unidad de detección está basada en un detector coaxial de germanio hiper puro (HPGE) de tipo p con contacto frontal delgado y preamplificador.

La técnica de espectrometría de rayos gamma es un estudio cualitativo y cuantitativo del espectro de energía de fuentes radiactivas emisoras gamma. Estas emisiones son detectadas por el sistema espectroscópico y un espectro de energía es obtenido, de cuyo análisis se desprende la identificación de los radioisótopos que emiten en estos rangos energéticos. Los rangos de energía de emisión de estos fotones van desde pocos Kev hasta aproximadamente 10 MeV. El límite entre rayos gamma y rayos X no es tan claro, ya que los rayos X se refieren a altas energías de emisión electrónica de los átomos que pueden extenderse más allá de los 100 KeV, mientras las emisiones gamma de energías más bajas de los núcleos son rayos gamma térmicos de energías incluso menores que 20 KeV (System, 2015).

Los detectores de radiación de materiales semiconductores como el Silicio o el Germanio crean cargas cuando interactúan con la radiación ionizante; un electrón de la banda de valencia puede pasar a la banda de conducción creándose un hueco en la banda de valencia y un electrón libre, a esto se le denomina para electrón-hueco. Con una diferencia de potencial aplicada a ambos lados del detector se puede crear un flujo de electrones y huecos creando el impulso eléctrico correspondiente. Se requiere la acción de un preamplificador y de un amplificador para aumentar la señal considerablemente. Debido a que la temperatura influye en la generación de portadores de carga, los detectores que usan materiales semiconductores se someten a temperaturas criogénicas, por lo general a 77 K que es la temperatura del nitrógeno líquido. A causa de la sección eficaz del germanio, éste suele emplearse para espectrometría gamma y para detección de rayos X (Grau Carles, 2013).

La parte física de la detección requiere señales eléctricas creadas a partir de la ionización, las cuales van a ser amplificadas e interpretadas por el analizador multicanal (MCA). En el caso del espectrómetro utilizado en el presente trabajo ha sido programado para que el espectro sea recolectado y analizado desde el canal 9 hasta el canal 16299, y a estos canales se les asignan los diferentes valores de energía obtenidos en el momento de la calibración.

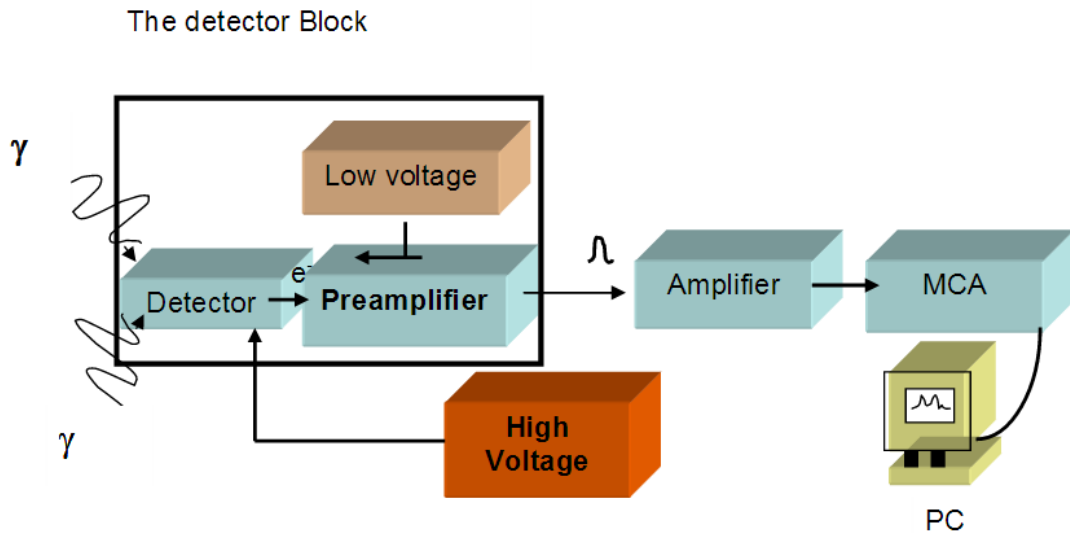


Gráfico 1-3. Diagrama de detección para equipos de espectrometría gamma.

Fuente: (conferencia SCAN, 2016)

Además para que la adquisición de datos se dé de forma adecuada, el bloque de detección debe operar con los rangos de voltaje especificados y parámetros de instalación mostrados en las tablas Tabla 10-3 y Tabla 10-3. Valores actuales de los parámetros principales del equipo de espectrometría gamma.Tabla 11-3.

Tabla 10-3. Valores actuales de los parámetros principales del equipo de espectrometría gamma.

N	Parameter Name	TS Value	Actual Value
1.	Gamma – ray energy range, keV	5-10000	5-10000
2.	Energy resolution* for energies, eV, no more than: 122 keV 1332 keV <i>*total system resolution for a source at 1000 counts/s measured in accordance with ANSI/IEEE Std. 325-1996, using multichannel analyzer MCA-527, GBS Ltd.</i>	<875 <1800	814 1774
3.	Relative efficiency for energy 1,33 MeV to (NaI)TI, % (Co-60 source mounted 25cm above the detector) Peak/Compton ratio, no less than Peak parameters: FW.1M/FWHM, no more than FW.02M/FWHM, no more than	40 63:1 1,90 2,65	41.2 64:1 1,87 2,50
4.	Optimal operating voltage of SCD (HV), V, positive	1000-4000	2500
5.	Conversion factor, no less than, mV/MeV	220	225
6.	Output signal polarity	negative	
7.	Output signal voltage rise time, μs, no more than	0.15	0,15
8.	Output signal voltage fall time, μs, no less than	50	65

Fuente: (Operating Manual,BSI Instruments)

Tabla 11-3. Características técnicas del equipo de espectrometría gamma.

1.	Sensitive area: diameter, mm depth, mm thickness of front contacts, μm	61.4 61.4 ~0.3
2.	Carbon fiber end cap thickness, mm	0,8
3.	Spacing between detector face and end cap window, mm	8
4.	Maximum energy rate, MeV/sec, no less than	200 000
5.	Conversion function integral nonlinearity, % not more than	0,04
6.	PA power supply	$\pm 12\text{V}$
7.	Preamplifier output resistance, Ohm	50+/-1
8.	Connective cables length, m	3
9.	Cooling time, hours, not over	8
10.	Dewar vessel volume, l	30
11.	Period between liquid nitrogen refilling, days, no less than	15
12.	Overall dimension of the component part of the spectrometer, mm, no more than: - Detection unit with lead shield and support table - MCA-527	629x539x1344 164x111x145
13.	Weight of the component parts of the spectrometer, kg, no more than: - Detection unit (at empty Dewar vessel) - MCA-527 - Lead shield with support table	20.00 0.840 750.0

Fuente: (Operating Manual,BSI Instruments)

En la parte superior del Gráfico 2-3. se puede apreciar como el detector de germanio hiperpuro que es la parte central del sistema de detección, va sobre un contenedor de nitrógeno líquido denominado deware y un mecanismo de dedo frío mantiene al detector a la temperatura criogénica del nitrógeno líquido para su correcto funcionamiento. El detector va cubierto por un blindaje de plomo y cobre y las muestras son colocadas sobre el detector. En la parte inferior del Gráfico 2-3. se aprecia el arreglo espectroscópico visto de arriba, donde la tapa del blindaje está abierta.

3.6. Variables dependientes e independientes

Variable independiente: Contenido radiológico de las aguas termales de la provincia de Tungurahua.

Variables dependientes: Exposición externa debida a los elementos radiactivos encontrados en las aguas termales.

Tabla 12-3. Variables dependientes e independientes.

<i>Variable Independiente</i>	<i>Definición conceptual</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Índice</i>
Contenido radiológico del agua termal	Número de radioisótopos disueltos en el agua, que se desintegran espontáneamente emitiendo partículas o fotones.	Espectrometría	Energía Tasas de conteo Concentración de actividad	MeV Cuentas por segundo Bq/L
<i>Variable Dependiente</i>	<i>Definición conceptual</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Índice</i>
Exposición externa	Los elementos radiactivos encontrados en las muestras de agua termal tienen cierto grado de radiotoxicidad, lo cual puede provocar efectos determinísticos o estocásticos en la población que se expone estas.	Riesgo radiológico	Dosis equivalente	mSv/año

3.7. Tipos y caracterización de pruebas experimentales

3.7.1. *Análisis alfa y beta grueso*

Para la medición de la actividad de radiación alfa y beta del agua se requiere 100mg de material sólido, por tal razón hay que evaporar la muestra. Para saber que volumen de agua se necesita evaporar se calcula los sólidos totales disueltos (TDS). Los sólidos evaporados se depositan en el fondo de una plancheta, y esta se la coloca debajo del detector para el correspondiente análisis.



Gráfico 3-3. Equipo detector de radiación alfa/beta grueso.

Fuente: (Ludlum Measurements,INC)

3.7.2. *Análisis de espectrometría gamma*

Para identificar los radioisótopos emisores gamma de un material, se requiere 1 L de muestra. Por eso, el agua termal es puesta en un contenedor de tipo Marinelli con este volumen específico.

Para la adquisición del espectro gamma se coloca la muestra sobre el detector de germanio hiper puro, dentro del blindaje. Luego, el espectro se adquiere con un tiempo de conteo de aproximadamente de 1 a 3 días, ya que es necesario que los picos puedan distinguirse del background radiactivo del laboratorio.



Gráfico 4-3. Laboratorio de espectrometría gamma, donde se puede apreciar las muestras que van a ser medidas, el blindaje que protege al detector y el deware con nitrógeno líquido.

Fuente: Wilson Reino, 2016

3.8. Recolección, organización y procesamiento de datos

3.8.1. Datos del conteo alfa/beta grueso

Las tasas de conteo que detecta el equipo (CPS) a partir de los sólidos obtenidos en la evaporación se han recopilado en la Tabla 13-3. Restando el background de la medición alfa y beta y dividiendo para el tiempo de conteo. Con estas tasas de conteo, la concentración de actividad para emisores alfa/beta es calculada con las eficiencias y los factores de auto absorción obtenidos en el diseño experimental de la investigación.

Tabla 13-3. Tasas de conteo alfa/beta de los sólidos de las fuentes termal.

COD	Fuente termal	Sólidos (mg)	conteo alfa			conteo beta		
			background	α	CPS	background	β	CPS
1	Cunugyacu 1	124,87	1	0	-0,00028	788	627	-0,045
2	Cunugyacu 2	153,73	1	2	0,00028	786	727	-0,016
3	Cunugyacu piscina	107,11	3	3	0,00000	762	766	0,001
4	Aguaján	96,24	3	2	-0,00028	833	738	-0,026
5	Huapante tanque	104,87	1	5	0,00111	733	787	0,015
6	Huapante represa	93,16	7	8	0,00028	798	803	0,001
7	Calera pantano	122,19	3	3	0,00000	780	782	0,001
8	Calera acequia	115,91	3	4	0,00028	799	770	-0,008
9	Calera río	57,15	2	1	-0,00028	757	791	0,009
10	Santa clara	102,97	5	9	0,00111	790	779	-0,003
11	Santa Ana cueva	86,09	4	3	-0,00028	776	779	0,001
12	Santa Ana chorrera	121,27	1	4	0,00083	798	746	-0,014
13	Virgen 1	74,21	6	3	-0,00083	804	771	-0,009
14	Virgen 2	93,21	6	8	0,00056	828	795	-0,009
15	Salado tanque	169,18	4	3	-0,00028	772	752	-0,006
16	Salado acequia	151,84	7	6	-0,00028	797	754	-0,012
17	Salado río	140,55	3	3	0,00000	767	763	-0,001
18	Salado piscina cubierta	84,96	4	1	-0,00083	806	734	-0,020
19	Salado piscina descubierta	112,08	3	3	0,00000	809	741	-0,019

Fuente: (SCAN, 2016)

3.8.2. Datos del espectrómetro gamma

La adquisición de los espectros gamma (Ver 4.2) de las muestras se realizó con el software SpectraLineGP y a partir del espectro obtenido se efectuó un reconocimiento de picos, identificación de picos característicos de elementos radiactivos, resta del background radiactivo del laboratorio, un ajuste gaussiano a los picos del espectro, una integración del área bajo la curva del pico identificado, el cálculo de la tasa de conteo en dependencia del tiempo de adquisición del espectro y el cálculo de la concentración de actividad de cada una de las muestras termales. Estos datos se han recopilado en las tablas mostradas a continuación.

Tabla 14-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu 1.

SCAN-ARAD-2016-343-01 (Cunugyacu 1)				
Measuring date: 27-10-2016				
Live time=55403.68				
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide
10,341	180	1.69E-05	0.00325	Background
46,494	139	0.00851	0.00250	Background
63,385	176	0.0166	0.00318	Background
74,927	413	0.0221	0.0075	Background
77,049	168	0.0231	0.0030	Background
84,787	358	0.0262	0.0065	Background
87,292	233	0.0272	0.0042	Background
92,556	593	0.0289	0.0107	Background
185,777	487	0.0329	0.0088	Background

Fuente: (SCAN)

Tabla 15-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu 2.

SCAN-ARAD-2016-343-02 (Cunugyacu 2)					
Measuring date: 29-09-2016					
Live time=82559.00					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
63,798	47	0.0168	0.00057	Th-232	< 26
79,301	11	0.024	0.000131	Bi-214	0.80
242,020	38	0.0286	0.00046	Pb-214	< 0.34
295,201	86	0.025	0.0010	Pb-214	< 0.34
351,895	146	0.0219	0.0018	Pb-214	< 0.34
608,957	432	0.0144	0.0052	Bi-214	0.80
767,699	40	0.0121	0.00048	Bi-214	0.80
802,443	51	0.0117	0.00061	Po-210	< 6600
805,517	9	0.0117	0.000114	Bi-214	0.80
933,651	21	0.0105	0.000256	Bi-214	0.80
1119,465	92	0.00925	0.00112	Bi-214	0.80
1237,288	33	0.0086	0.00040	Bi-214	0.80
1376,926	21	0.00793	0.000255	Bi-214	0.80
1458,865	29	0.00758	0.00036	K-40	< 0.8
1728,298	13	0.00658	0.000154	Bi-214	0.80
1763,197	66	0.00647	0.00080	Bi-214	0.80
2202,498	17	0.00519	0.000210	Bi-214	0.80

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 16-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Cunugyacu piscina.

SCAN-ARAD-2016-343-03 (Cunugyacu piscina)					
Measuring date: 28-09-2016					
Live time=82804.33					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
79,290	13	0.024	0.000163	Bi-214	1.00
242,038	78	0.0286	0.00094	Pb-214	0.44
295,206	177	0.025	0.0021	Pb-214	0.44
351,819	301	0.0219	0.0036	Pb-214	0.44
608,741	535	0.0144	0.0065	Bi-214	1.00

767,940	49	0.0121	0.00060	Bi-214	1.00
933,979	26	0.0105	0.000318	Bi-214	1.00
1119,370	115	0.00925	0.00139	Bi-214	1.00
1155,036	12	0.00904	0.000147	Bi-214	1.00
1237,118	41	0.0086	0.00050	Bi-214	1.00
1376,945	26	0.00793	0.000316	Bi-214	1.00
1728,123	16	0.00658	0.000192	Bi-214	1.00
1763,022	82	0.00647	0.00099	Bi-214	1.00
2204,189	22	0.00519	0.000261	Bi-214	1.00

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 17-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Aguaján.

SCAN-ARAD-2016-343-04 (Aguaján)				
Measuring date: 26-10-2016				
Live time=54126.02				
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide
10,341	178	1.69E-05	0.00328	Background
46,350	119	0.00844	0.00219	Background
63,241	156	0.0166	0.00289	Background
74,940	475	0.0221	0.0088	Background
77,062	225	0.0231	0.0042	Background
84,800	385	0.0262	0.0071	Background
87,305	240	0.0272	0.0044	Background
92,533	567	0.0289	0.0105	Background
185,748	475	0.0329	0.0088	Background
238,573	535	0.0289	0.0099	Background
241,688	137	0.0286	0.00254	Background
294,991	343	0.025	0.0063	Background
351,793	576	0.0219	0.0107	Background
510,679	881	0.0164	0.0163	Background

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 18-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Huapante tanque.

SCAN-ARAD-2016-343-05 (Huapante tanque)					
Measuring date: 12-10-2016					
Live time=87334.89					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
968,726	69	0.0103	0.00079	Ac-228	0.49

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 19-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Huapante represa.

SCAN-ARAD-2016-343-06 (Huapante represa)					
Measuring date: 03-10-2016					
Live time=82767.91					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
609,063	335	0.0144	0.0040	Bi-214	0.61
767,322	30	0.0121	0.00037	Bi-214	0.61
933,428	16	0.0105	0.000196	Bi-214	0.61
1118,925	71	0.00925	0.00086	Bi-214	0.61
1237,362	25	0.0086	0.000306	Bi-214	0.61
1376,630	16	0.00793	0.000195	Bi-214	0.61
1407,873	9	0.00779	0.000103	Bi-214	0.61
1509,221	8	0.00738	0.000096	Bi-214	0.61
1727,637	10	0.00658	0.000118	Bi-214	0.61
1762,536	51	0.00647	0.00061	Bi-214	0.61
1847,374	7	0.0062	0.000080	Bi-214	0.61
2204,210	13	0.00519	0.000162	Bi-214	0.61

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 20-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera pantano.

SCAN-ARAD-2016-343-07 (Calera pantano)					
Measuring date: 26-09-2016					
Live time=80225.93					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
242,002	37	0.0286	0.00047	Pb-214	< 0.35
295,192	85	0.025	0.0011	Pb-214	< 0.35
351,898	145	0.0219	0.0018	Pb-214	< 0.35
608,853	543	0.0144	0.0068	Bi-214	1.04
664,466	16	0.0135	0.000204	Bi-214	1.04
767,925	50	0.0121	0.00062	Bi-214	1.04
806,174	12	0.0117	0.000148	Bi-214	1.04
933,760	27	0.0105	0.000332	Bi-214	1.04
1119,655	116	0.00925	0.00145	Bi-214	1.04
1154,558	12	0.00904	0.000153	Bi-214	1.04
1237,416	42	0.0086	0.00052	Bi-214	1.04
1280,266	10	0.00838	0.000125	Bi-214	1.04
1377,007	27	0.00793	0.000330	Bi-214	1.04
1384,648	5	0.0079	0.000062	Bi-214	1.04
1400,838	8	0.00783	0.000103	Bi-214	1.04
1407,318	14	0.0078	0.000175	Bi-214	1.04
1508,868	13	0.00738	0.000162	Bi-214	1.04
1583,219	4	0.00709	0.000051	Bi-214	1.04
1661,279	7	0.00681	0.000081	Bi-214	1.04
1728,354	16	0.00658	0.000200	Bi-214	1.04
1763,253	83	0.00647	0.00103	Bi-214	1.04
1846,179	11	0.0062	0.000136	Bi-214	1.04
2118,550	5	0.00541	0.000064	Bi-214	1.04
2203,534	22	0.00519	0.000274	Bi-214	1.04
2447,184	6	0.0046	0.000075	Bi-214	1.04

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 21-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera acequia.

SCAN-ARAD-2016-343-08 (Calera acequia)					
Measuring date: 12-09-2016					
Live time=180143.31					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
72,874	10	0.0212	0.000056	Bi-214	0.39
79,291	11	0.024	0.000064	Bi-214	0.39
93,349	71	0.0292	0.00039	Ac-228	0.44
129,078	66	0.0349	0.000369	Ac-228	0.44
209,251	95	0.0311	0.00053	Ac-228	0.44
269,742	72	0.0266	0.00040	Ac-228	0.44
328,000	53	0.0231	0.000296	Ac-228	0.44
338,212	201	0.0226	0.00112	Ac-228	0.44
409,462	29	0.0195	0.000163	Ac-228	0.44
462,954	61	0.0177	0.000340	Ac-228	0.44
608,212	449	0.0144	0.00249	Bi-214	0.39
767,997	42	0.0121	0.000233	Bi-214	0.39
794,061	39	0.0118	0.000219	Ac-228	0.44
802,214	131	0.0117	0.00073	Po-210	5100
805,288	10	0.0117	0.000055	Bi-214	0.39
910,469	216	0.0107	0.00120	Ac-228	0.44
933,326	22	0.0105	0.000124	Bi-214	0.39
964,196	40	0.0103	0.000224	Ac-228	0.44
968,401	128	0.0103	0.00071	Ac-228	0.44
1119,136	98	0.00925	0.00054	Bi-214	0.39
1237,955	35	0.00859	0.000194	Bi-214	0.39
1377,041	22	0.00793	0.000123	Bi-214	0.39
1384,682	4	0.0079	0.0000232	Bi-214	0.39
1459,249	65	0.00758	0.00036	K-40	< 0.9
1588,200	18	0.00708	0.000099	Ac-228	0.44
1729,536	13	0.00658	0.000075	Bi-214	0.39
1763,498	71	0.00646	0.000395	Bi-214	0.39
2199,793	18	0.0052	0.000102	Bi-214	0.39

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 22-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Calera río.

SCAN-ARAD-2016-343-09 (Calera río)					
Measuring date: 21-09-2016					
Live time=84354.27					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
242,006	28	0.0286	0.00033	Pb-214	< 0.28
295,200	63	0.025	0.0007	Pb-214	< 0.28
351,903	107	0.0219	0.0013	Pb-214	< 0.28
608,963	459	0.0144	0.0054	Bi-214	0.84
767,583	42	0.0121	0.00050	Bi-214	0.84
933,478	23	0.0105	0.000267	Bi-214	0.84
1119,258	99	0.00925	0.00117	Bi-214	0.84
1237,342	35	0.0086	0.00042	Bi-214	0.84
1377,066	22	0.00793	0.000266	Bi-214	0.84
1400,897	7	0.00782	0.000083	Bi-214	0.84
1407,377	12	0.0078	0.000141	Bi-214	0.84
1763,099	70	0.00647	0.00083	Bi-214	0.84
2115,689	4	0.00542	0.000052	Bi-214	0.84
2201,349	19	0.00519	0.000221	Bi-214	0.84

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 23-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Clara.

SCAN-ARAD-2016-343-10 (Santa Clara)					
Measuring date: 17-10-2016					
Live time=98151.73					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
79,302	9	0.024	0.000092	Bi-214	0.56
242,000	57	0.0286	0.00058	Pb-214	0.27
295,200	129	0.025	0.0013	Pb-214	0.27
351,865	219	0.0219	0.0022	Pb-214	0.27
608,424	357	0.0144	0.00363	Bi-214	0.56
768,356	33	0.0121	0.000337	Bi-214	0.56
934,061	18	0.0105	0.000179	Bi-214	0.56
1119,473	77	0.00925	0.00078	Bi-214	0.56
1238,110	27	0.00859	0.000280	Bi-214	0.56
1377,669	17	0.00793	0.000178	Bi-214	0.56

1459,169	27	0.00758	0.00028	K-40	< 0.8
1729,106	11	0.00658	0.000108	Bi-214	0.56
1764,005	55	0.00646	0.00056	Bi-214	0.56
2118,531	3	0.00541	0.0000347	Bi-214	0.56
2204,191	14	0.00519	0.000148	Bi-214	0.56

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 24-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Ana cueva.

SCAN-ARAD-2016-343-11 (Santa Ana cueva)					
Measuring date: 31-10-2016					
Live time=86159.09					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
79,281	14	0.024	0.000163	Bi-214	1.00
242,018	69	0.0286	0.00080	Pb-214	0.38
295,185	156	0.025	0.0018	Pb-214	0.38
351,841	266	0.0219	0.0031	Pb-214	0.38
608,722	561	0.0144	0.0065	Bi-214	1.00
768,356	51	0.0121	0.00060	Bi-214	1.00
934,061	27	0.0105	0.000318	Bi-214	1.00
1119,441	120	0.00925	0.00139	Bi-214	1.00
1238,110	43	0.00859	0.00050	Bi-214	1.00
1377,669	27	0.00793	0.000317	Bi-214	1.00
1459,561	120	0.00758	0.00139	K-40	1.7
1729,595	16	0.00658	0.000191	Bi-214	1.00
1763,451	85	0.00646	0.00099	Bi-214	1.00
2117,150	5	0.00542	0.000061	Bi-214	1.00
2202,810	23	0.00519	0.000262	Bi-214	1.00

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 25-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Santa Ana chorrera.

SCAN-ARAD-2016-343-12 (Santa Ana chorrera)					
Measuring date: 04-10-2016					
Live time=85884.20					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
608,954	369	0.0144	0.0043	Bi-214	0.66
767,542	34	0.0121	0.00039	Bi-214	0.66
933,624	18	0.0105	0.000210	Bi-214	0.66
1119,257	79	0.00925	0.00092	Bi-214	0.66
1237,278	28	0.0086	0.00033	Bi-214	0.66
1376,693	18	0.00793	0.000209	Bi-214	0.66
1459,061	53	0.00758	0.00061	K-40	< 1.3
1728,222	11	0.00658	0.000126	Bi-214	0.66
1763,121	56	0.00647	0.00065	Bi-214	0.66
2202,378	15	0.00519	0.000173	Bi-214	0.66

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 26-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Virgen 1.

SCAN-ARAD-2016-343-13 (Virgen 1)					
Measuring date: 09-11-2016					
Live time=86381.96					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
1459,375	177	0.00758	0.00205	K-40	2.5

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 27-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Virgen 2.

SCAN-ARAD-2016-343-14 (Virgen 2)					
Measuring date: 10-11-2016					
Live time=86241.99					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
1459,587	166	0.00758	0.00192	K-40	2.4

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 28-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado tanque.

SCAN-ARAD-2014 343 15 (Salado tanque)					
Measuring date: 11-11-2016					
Live time=85705.09					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq
93,358	20	0.0292	0.00023	Ac-228	0.25
129,066	18	0.0349	0.00021	Ac-228	0.25
209,253	26	0.0311	0.00030	Ac-228	0.25
270,245	20	0.0266	0.00023	Ac-228	0.25
327,944	15	0.0231	0.00017	Ac-228	0.25
338,264	55	0.0226	0.00064	Ac-228	0.25
409,459	8	0.0195	0.000094	Ac-228	0.25
463,003	17	0.0177	0.00020	Ac-228	0.25
794,947	11	0.0118	0.000126	Ac-228	0.25
910,551	59	0.0107	0.00069	Ac-228	0.25
964,404	11	0.0103	0.000128	Ac-228	0.25
968,609	35	0.0103	0.00041	Ac-228	0.25
1460,450	188	0.00757	0.00220	K-40	2.7
1588,178	5	0.00708	0.000057	Ac-228	0.25

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 29-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado acequia.

SCAN-ARAD-2016 -343-16 (Salado acequia)					
Measuring date: 28-10-2016					
Live time=259556.03					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
53,242	13	0.0117	0.000052	Pb-214	0.36
72,873	52	0.0212	0.000200	Bi-214	1.37
79,290	58	0.024	0.000224	Bi-214	1.37
93,352	73	0.0292	0.00028	Ac-228	0.30
129,039	65	0.0349	0.000252	Ac-228	0.30
208,814	94	0.0311	0.00036	Ac-228	0.30
242,002	198	0.0286	0.00076	Pb-214	0.36
270,245	71	0.0266	0.000274	Ac-228	0.30
295,125	445	0.025	0.00172	Pb-214	0.36
328,011	53	0.0231	0.000204	Ac-228	0.30
338,331	198	0.0226	0.00076	Ac-228	0.30
351,753	759	0.0219	0.0029	Pb-214	0.36
409,451	29	0.0195	0.000111	Ac-228	0.30
462,912	60	0.0177	0.000233	Ac-228	0.30
608,666	2070	0.0144	0.00798	Bi-214	1.37
665,453	70	0.0135	0.000269	Bi-214	1.37
767,826	215	0.0121	0.000828	Bi-214	1.37
794,516	39	0.0118	0.000150	Ac-228	0.30
802,560	210	0.0117	0.00081	Po-210	5700
805,634	51	0.0117	0.000196	Bi-214	1.37
910,392	213	0.0107	0.00082	Ac-228	0.30
933,472	114	0.0105	0.000438	Bi-214	1.37
964,300	40	0.0103	0.000153	Ac-228	0.30
968,505	125	0.0103	0.00048	Ac-228	0.30
1119,576	512	0.00925	0.00197	Bi-214	1.37
1237,340	179	0.0086	0.000690	Bi-214	1.37
1377,010	114	0.00793	0.000438	Bi-214	1.37
1384,651	21	0.0079	0.0000820	Bi-214	1.37
1407,868	60	0.00779	0.000231	Bi-214	1.37
1459,353	354	0.00758	0.00137	K-40	1.7
1509,196	55	0.00738	0.000214	Bi-214	1.37
1588,168	18	0.00708	0.000068	Ac-228	0.30
1729,342	69	0.00658	0.000264	Bi-214	1.37
1763,524	374	0.00646	0.00144	Bi-214	1.37
1847,004	47	0.0062	0.000179	Bi-214	1.37
2203,907	95	0.00519	0.000368	Bi-214	1.37

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 30-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado río.

SCAN-ARAD-2016-343-17 (Salado río)					
Measuring date: 19-09-2016					
Live time=82952.00					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
242,006	91	0.0286	0.00110	Pb-214	0.52
295,183	206	0.025	0.0025	Pb-214	0.52
351,833	352	0.0219	0.0042	Pb-214	0.52
608,637	625	0.0144	0.0075	Bi-214	1.16
767,690	58	0.0121	0.00069	Bi-214	1.16
933,904	31	0.0105	0.000369	Bi-214	1.16
1119,454	134	0.00925	0.00161	Bi-214	1.16
1237,689	48	0.00859	0.00058	Bi-214	1.16
1377,629	30	0.00793	0.000367	Bi-214	1.16
1385,270	6	0.00789	0.000069	Bi-214	1.16
1459,274	151	0.00758	0.00182	K-40	2.2
1728,575	18	0.00658	0.000222	Bi-214	1.16
1763,474	95	0.00646	0.00115	Bi-214	1.16
2204,192	25	0.00519	0.000303	Bi-214	1.16

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 31-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado piscina cubierta.

SCAN-ARAD-2016-343-18 (Salado piscina cubierta)					
Measuring date: 09-09-2016					
Live time=210858.00					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
53,200	21	0.0117	0.000100	Pb-214	0.68
72,871	69	0.0212	0.000329	Bi-214	2.25
76,861	44	0.023	0.000210	Bi-214	2.25
79,288	77	0.024	0.000366	Bi-214	2.25
242,272	309	0.0286	0.00146	Pb-214	0.68
295,106	693	0.025	0.00329	Pb-214	0.68
351,671	1175	0.0219	0.0056	Pb-214	0.68
609,001	2793	0.0144	0.0132	Bi-214	2.25
767,760	286	0.0121	0.00135	Bi-214	2.25
802,484	135	0.0117	0.00064	Po-210	4500
805,558	68	0.0117	0.000321	Bi-214	2.25
933,803	152	0.0105	0.000719	Bi-214	2.25

1119,538	674	0.00925	0.00320	Bi-214	2.25
1237,382	238	0.0086	0.00113	Bi-214	2.25
1376,441	151	0.00793	0.000717	Bi-214	2.25
1384,082	28	0.0079	0.000134	Bi-214	2.25
1407,897	79	0.00779	0.000377	Bi-214	2.25
1459,854	1353	0.00758	0.00642	K-40	7.9
1508,421	74	0.00738	0.000350	Bi-214	2.25
1728,686	92	0.00658	0.000435	Bi-214	2.25
1763,107	493	0.00647	0.00234	Bi-214	2.25
1847,231	62	0.0062	0.000292	Bi-214	2.25
2202,601	131	0.00519	0.000620	Bi-214	2.25
2447,776	33	0.0046	0.000158	Bi-214	2.25

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 32-3. Magnitudes físicas para la caracterización de los fotopicos del espectro gamma de la fuente Salado piscina descubierta.

SCAN-ARAD-2016-343-19 Salado piscina descubierta)					
Measuring date: 20-09-2016					
Live time=88771.19					
Energy	Area	Efficiency	Count rate	Nuclide	Activity, Bq/L
242,007	86	0.0286	0.00097	Pb-214	0.45
295,186	194	0.025	0.0022	Pb-214	0.45
351,823	331	0.0219	0.0037	Pb-214	0.45
609,019	1029	0.0144	0.0116	Bi-214	1.75
665,453	30	0.0135	0.000343	Bi-214	1.75
767,771	93	0.0121	0.00105	Bi-214	1.75
805,589	22	0.0117	0.000250	Bi-214	1.75
933,197	50	0.0105	0.000559	Bi-214	1.75
1119,205	215	0.00925	0.00242	Bi-214	1.75
1154,253	23	0.00905	0.000258	Bi-214	1.75
1236,860	78	0.0086	0.00087	Bi-214	1.75
1280,154	19	0.00838	0.000210	Bi-214	1.75
1377,582	49	0.00793	0.000556	Bi-214	1.75

1401,413	15	0.00782	0.000174	Bi-214	1.75
1407,893	26	0.00779	0.000294	Bi-214	1.75
1459,682	131	0.00758	0.0015	K-40	1.8
1508,088	24	0.00738	0.000272	Bi-214	1.75
1728,241	30	0.00658	0.000336	Bi-214	1.75
1763,140	153	0.00647	0.00173	Bi-214	1.75
1847,409	20	0.0062	0.000229	Bi-214	1.75
2204,210	40	0.00519	0.000452	Bi-214	1.75
2447,857	11	0.0046	0.000127	Bi-214	1.75

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

3.9. Diseño experimental



3.9.1. Muestreo

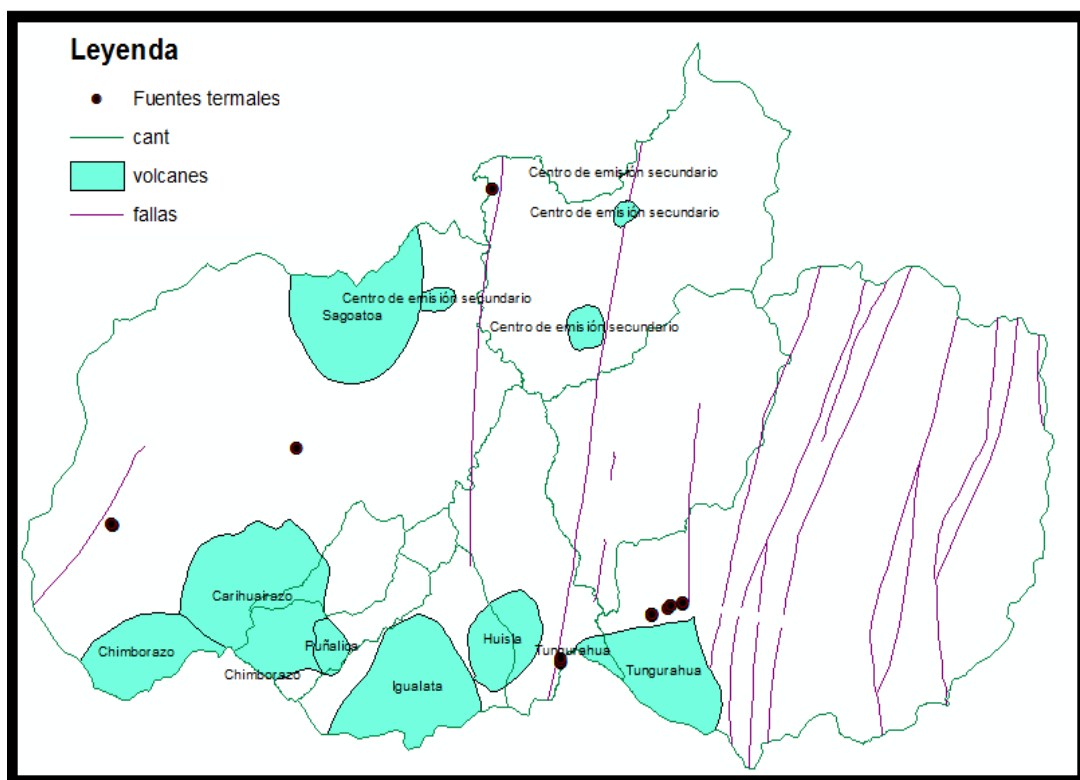
Esta etapa cubre la identificación de campo de las fuentes termales, la medición de características físico-químicas in situ, la recolección de muestras y almacenamiento.

3.9.1.1. Procesamiento geográfico de los puntos de muestreo

Basándose en los datos preliminares proporcionados por la Secretaría del Agua, se procedió a un reconocimiento y georreferenciación de los sitios de captación y aprovechamiento de fuentes termales en toda la provincia de Tungurahua.

Mediante el uso del software ArcGIS se construyeron mapas descriptivos que señalan las ubicaciones geográficas exactas de las áreas de estudio y conjuntamente con fotos satelitales del sitio es posible diferenciar la zona de las vertientes y la zona de las piscinas (ver Anexo A).

Para correlacionar las fuentes termales con la ubicación de los centros eruptivos de la provincia se ha elaborado un mapa con la distribución de las aguas termales por cada cantón, identificando claramente las zonas catalogadas como fallas geológicas, los volcanes y los centros de emisión secundarios, encontrando un patrón de cercanía a estos centros eruptivos con los sitios de muestreo.



Mapa 2-3. Ubicación de las fuentes termales conjuntamente con variables geológicas.

Fuente: (SEAGUA)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

3.9.1.2. Evaluación de parámetros físico químicos y background radiactivo

Al momento del muestreo se recabó información físico química de las fuentes termales utilizando el equipo multi-parámetro portátil del Laboratorio de Aguas de la ESPOCH con la colaboración de la Dra. Gina Alvarez, técnico docente de la ESPOCH. En la Tabla 33-3. se muestran los parámetros físico químicos in situ tomados al momento de la recolección en Mayo de 2016.

Tabla 33-3. Parámetros físico-químicos de las aguas termales tomadas in situ en el punto de muestreo.

COD	Fuente termal	Parámetros físico-químicos						
		Tempe- ratura (C)	Con- ducti- vidad (mS/cm)	PH	Potencial	Salini- dad	Temp. Ambien- tal (C)	Hume- dad relati- va (%)
1	Cunugyacu 1	43,8	770	8,34	-73,6	> 4	-	-
2	Cunugyacu 2	44,5	760	8,32	-79,2	> 4	-	-
3	Cunugyacu piscina	26,8	452	7,83	-39,2	0,2	-	-
4	Aguaján	20,7	85	8,05	-52	0	-	-
5	Huapante tanque	25,1	278,5	7,18	-2,2	0	-	-
6	Huapante represa	24,5	174,2	7,39	-14,1	0	-	-
7	Calera pantano	24,1	560	6,65	27,9	0,2	-	-
8	Calera acequia	16,8	412	8,3	-63,1	0,2	-	-
9	Calera río	22,8	437	7,66	-25,2	0,2	-	-
10	Santa clara	22,6	168,4	6,33	46	0	21,8	76%
11	Santa Ana cueva	43,3	817	6,79	20,6	> 4	22,8	76%
12	Santa Ana chorrera	28,2	330	6,61	30,4	0,1	22,5	76%
13	Virgen 1	51,1	898	6,67	28,6	> 4	21,8	76%
14	Virgen 2	51,4	910	6,62	31,5	> 4	22,1	80%
15	Salado tanque	46,3	1360	6,61	31,7	> 4	20,3	72%
16	Salado acequia	35,5	976	7,13	0,2	0,4	19,6	83%
17	Salado río	37,7	1285	6,84	17,5	> 4	18,7	76%
18	Salado piscina cubierta	41,5	1304	6,76	22,2	> 4	19	92%
19	Salado piscina descubierta	34,3	1086	7,39	-14,7	0,5	18,3	89%

Fuente: (Laboratorio de Aguas, ESPOCH)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Además como un dato informativo se midió la radiación natural de fondo en los puntos de muestreo de la provincia usando un equipo Geiger-Müller, a 1 m y a 5 cm de la fuente para

obtener un valor referencial del fondo radiactivo ambiental. La información detallada se puede apreciar en la Tabla 34-3.

Tabla 34-3. Radiación natural de fondo tomada en los puntos de muestreo

COD	Fuente termal	Radiación natural de fondo (uSV/h)		Dosis efectiva anual (mSv/año)	
		1m	0.05m	1m	0.05m
1	Cunugyacu 1	0,259	0,227	2,27	1,99
2	Cunugyacu 2	0,227	0,258	1,99	2,26
3	Cunugyacu piscina	0,222	0,229	1,94	2,01
4	Aguján	0,192	0,194	1,68	1,70
5	Huapante tanque	0,185	0,228	1,62	2,00
6	Huapante represa	0,183	0,162	1,60	1,42
7	Calera pantano	0,191	0,194	1,67	1,70
8	Calera acequia	0,187	0,190	1,64	1,66
9	Calera río	0,190	0,193	1,66	1,69
10	Santa clara	0,156	0,185	1,37	1,62
11	Santa Ana cueva	0,127	0,165	1,11	1,45
12	Santa Ana chorrera	0,139	0,155	1,22	1,36
13	Virgen 1	0,187	0,153	1,64	1,34
14	Virgen 2	0,197	0,165	1,73	1,45
15	Salado tanque	0,170	0,145	1,49	1,27
16	Salado acequia	0,149	0,184	1,31	1,61
17	Salado río	0,202	0,191	1,77	1,67
18	Salado piscina cubierta	0,152	0,146	1,33	1,28
19	Salado piscina descubierta	0,158	0,172	1,38	1,51

Realizado por: Wilson Reino, 2016

3.9.1.3. Recolección de muestras

El muestreo de este estudio exploratorio se realizó en las 19 fuentes termales principales de la provincia de Tungurahua. El muestreo fue de tipo simple y basándose en las normas de la EPA (US Environmental Protection Agency). Las muestras fueron tomadas en el punto de origen de las aguas termales, las mismas que fueron acidificadas hasta obtener un pH menor a 2. Se tomaron dos muestras de 1l en cada sitio, usando recipientes de vidrio tipo ámbar.



Gráfico 5-3. Acidificación y medición de pH final de las muestras de agua, previa a su envasado.

Fuente: Wilson Reino, 2016

3.9.2. Calibración

3.9.2.1. Curvas de calibración para análisis alfa/beta grueso

En el equipo contador obtenemos las lecturas en cuentas por segundo (CPS) para emisiones alfa y beta. Luego, para calcular la actividad de la muestra se utiliza la eficiencia de detección del Am-241 ($\epsilon=0,150$) para el conteo alfa y la eficiencia de detección del Sr-90 ($\epsilon=0,150$) para el

conteo beta; además se construyeron curvas de eficiencia en dependencia del espesor másico utilizando diferentes volúmenes de americio y de estroncio para calcular un coeficiente de auto absorción, el cual hace una corrección de la medida.

El espesor másico (mg/cm^2) es un valor que se calcula dividiendo la masa de cada muestra para el área de la plancheta de muestreo ($\text{Área}=19,634 \text{ cm}^2$). Entonces haciendo un ajuste lineal de los datos se obtiene la ecuación de eficiencia en función del espesor másico, se puede interpolar los datos en el Gráfico 6-3 para tener un factor de auto absorción para cada espesor másico.

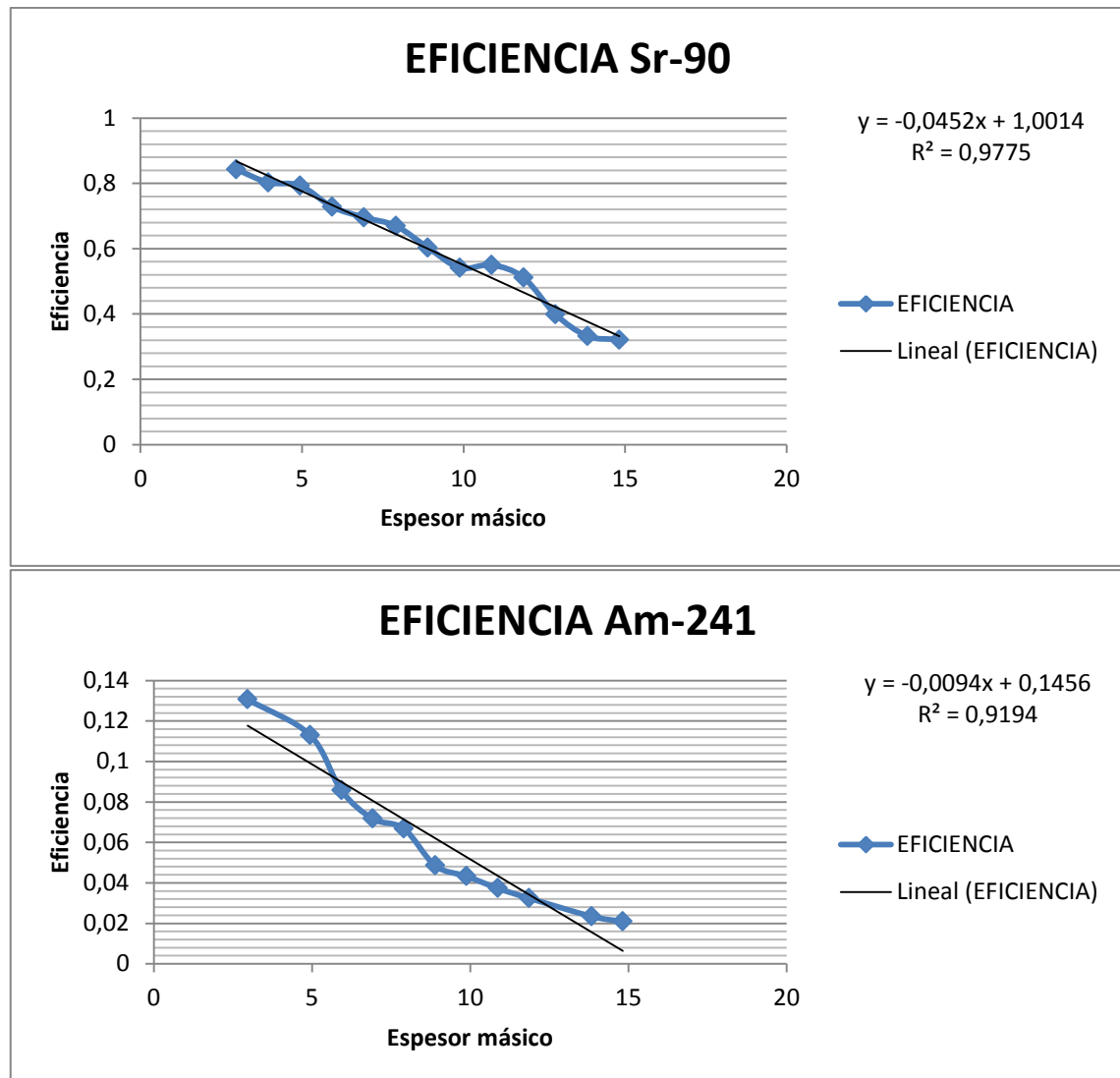


Gráfico 6-3 Curvas de eficiencia tomando en cuenta el espesor másico, evaluado con Sr-90, y Am-241.

Fuente: (SCAN)

Utilizando estas curvas de eficiencia se calcula la concentración de actividad alfa/beta grueso de cada muestra. Ver sección (3.9.3.)

3.9.2.2. *Curvas de calibración para espectrometría gamma*

- Calibración en energía

Un parámetro esencial para la cuantificación de emisores gamma es la exacta identificación del fotopico presente en el espectro obtenido por el sistema. El procedimiento para identificar un radionúclido consiste en identificar las principales energías gamma de radionúclidos conocidos.

Para realizar esta calibración se asigna valores de energías a los diferentes canales de adquisición del equipo multicanal (MCA) partiendo de una energía conocida de un estándar multinúclidos (proporcionado por el Instituto Checo de Metrología) que contenga al menos cuatro energías diferentes, la muestra debe ser leída el tiempo suficiente para que los fotopicos estén bien definidos, también es recomendable que la ganancia del sistema sea ajustada a 0.5 KeV/canal. Finalmente el número del canal que corresponde al centroide del pico será marcado con la energía correspondiente, obteniéndose una curva lineal con la calibración en energía.

- Calibración en eficiencia

Una calibración en eficiencia para el sistema de detección de emisores gamma es necesaria para cuantificar los radionúclidos, para esto se requiere tomar en cuenta la cantidad de la muestra disponible y la geometría del contenedor de la muestra, las geometrías pueden ser filtros, contenedores tipo Marinelli, cajas Petri, etc. Es indispensable un estándar multinúclidos con valores referenciales conocidos para construir la curva de eficiencia en función de la energía de tal manera que para cualquier energía se pueda interpolar la eficiencia basándose en esta curva. La geometría utilizada para hacer esta calibración debe ser usada posteriormente para cuantificar las muestras (IAEA, 1989).

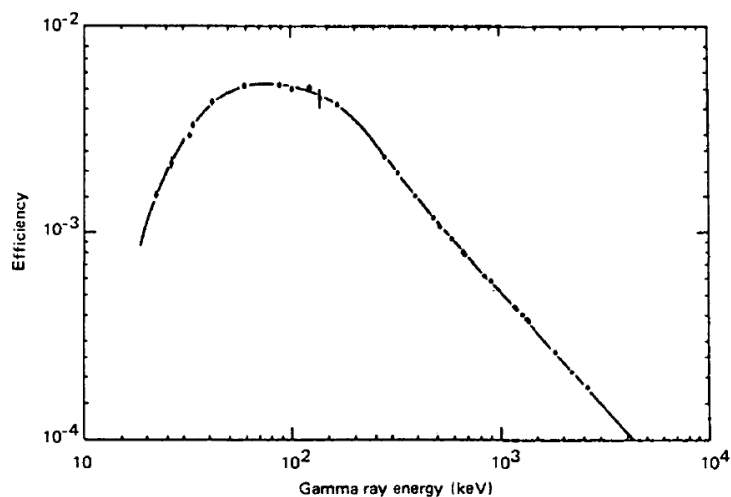


Gráfico 7-3 Curva de eficiencia como función de la energía gamma de un detector típico de Ge(Li)

Fuente: (IAEA, 1989)

- Geometría de calibración

La geometría utilizada para la detección es un parámetro importante, ya que de acuerdo a esto se puede analizar muestras de diferente volumen o masa.

En la Gráfico 8-3. se pueden visualizar tres espectros gamma diferentes. El espectro A es un background radiactivo del laboratorio, el espectro B por otro lado es un filtro de aire particulado (geometría filtro) luego de un tiempo de decaimiento de 196 días, y finalmente el espectro C es una muestra de agua en un contenedor de tipo Marinelli (geometría Marinelli).

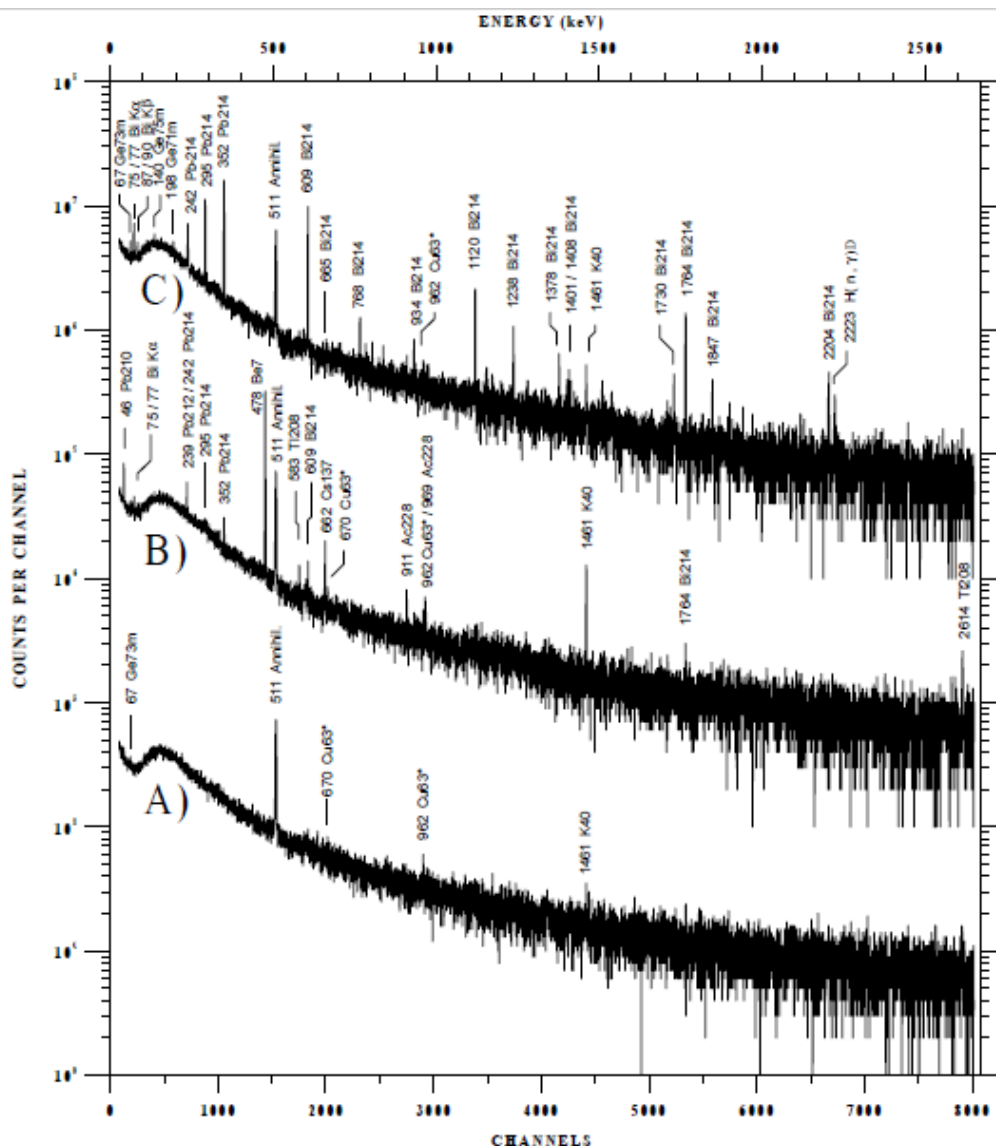


Gráfico 8-3. Espectros gamma: A) Background radiactivo, B) Espectro de un filtro de aire particulado y C) Espectro de una muestra de agua en un contendor Marinelli.

Fuente: (Environmental Sample Measurements with Low-background Gamma-ray Spectrometric Systems)

Debido a que la calibración del equipo de espectrometría gamma fue realizada en un contenedor de tipo Marinelli, la geometría de detección utilizada para leer las demás muestras adopta esta misma geometría. Este contenedor tiene un volumen de 1 L y su material es plástico y se muestra su forma en el Gráfico 9-3.



Gráfico 9-3. Contenedores de tipo Marinelli: a la izquierda el estándar multinúclidos del Instituto Checo de Metrología y a la derecha las muestras de agua termal.

Fuente: Wilson Reino, 2016

El espectro gamma del estándar multinúclidos del Instituto Checo de Metrología se muestra en el Gráfico 10-3. con la respectiva identificación de sus fotopicos característicos.

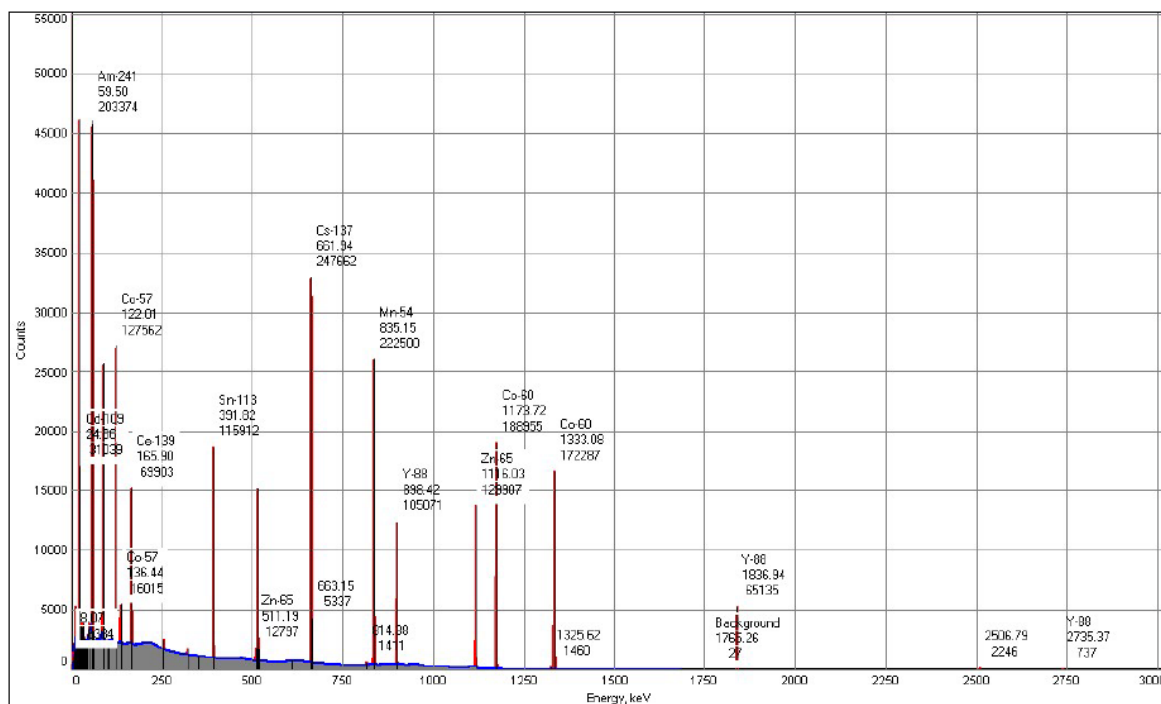


Gráfico 10-3. Espectro gamma del estándar multinúclidos utilizado para la calibración del espectrómetro.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

- Espectro de background en espectrometría gamma

La radiación de fondo tiene una influencia significativa en el límite de detección y en la precisión de mediciones de bajo nivel de actividad. Por esta razón debe ser tan bajo como sea posible. Los materiales de construcción de la edificación donde está el detector pueden tener grandes cantidades de elementos radiactivos de origen natural que pueden interferir con la medición. La mayor parte de la radiación de fondo atmosférica es causada por el Radón y sus productos de decaimiento, además la progenie de otros elementos radiactivos de vida larga también puede aumentar el background (IAEA, 1989). En el Gráfico 11-3. se muestran las diferentes contribuciones del background radiactivo en un espectro típico tomado por un centellador de NaI(Tl). Y en el Gráfico 12-3. se muestra el background radiactivo del laboratorio de la SCAN.

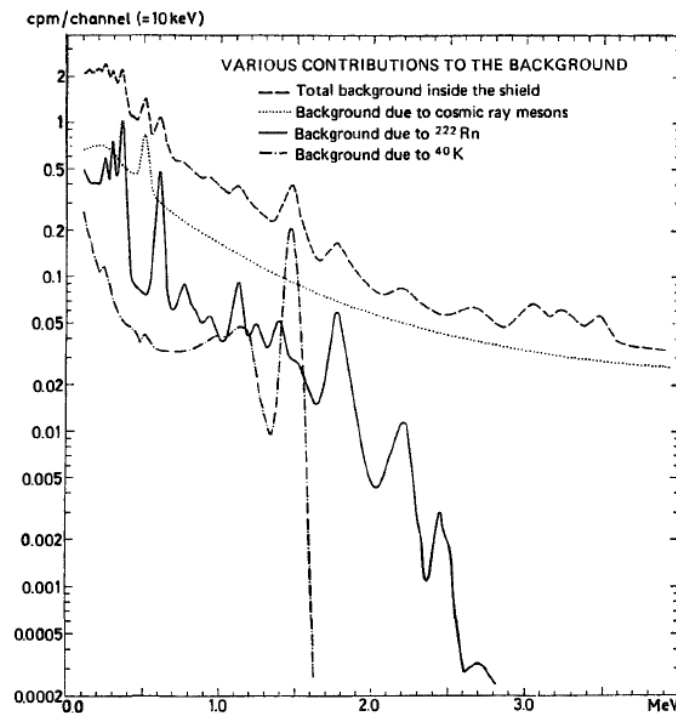


Gráfico 11-3. Varias contribuciones del background para un centellador de NaI(Tl) de 7.62cmx7.62cm con blindaje de plomo y parafina borada.

Fuente: (Knoll)

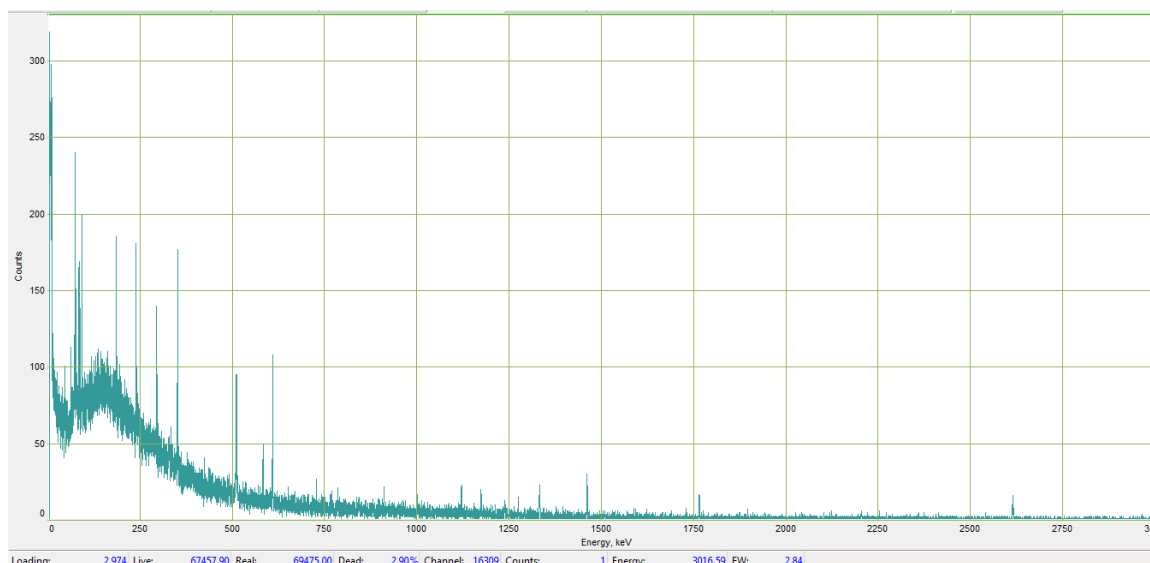


Gráfico 12-3. Espectro gamma del background radiactivo del laboratorio de espectrometría gamma de laboratorio de VAR.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Esta radiación natural de fondo será restada automáticamente por el software SpectraLineGP al momento de analizar los espectros de cada muestra.

3.9.3. Monitoreo

3.9.3.1. Análisis alfa/beta grueso

Para obtener 100 mg de sólidos por muestra se tomó 50ml de agua en un vaso de precipitación previamente pesado en una balanza SARTORIUS ME235P 23701919, se añadió ácido nítrico en una concentración de 6ml por cada litro de agua, de tal manera que el material sólido se precipite en forma de nitratos, y pueda ser medida su masa. La muestra es sometida a calor moderado en una estufa para que se evapore lentamente sin salpicar durante 1 día y dentro de una campana de flujo laminar debido a la presencia de ácido. En la Tabla 35-3. se muestra los TDS calculados a partir de este procedimiento para cada muestra de agua, basándose en este parámetro físico-químico es posible calcular la cantidad de agua que se requiere evaporar para

obtener los 100 mg de sólidos y la cantidad de ácido nítrico requerido para que precipite en forma de nitratos, lo cual se muestra en la misma tabla.

Tabla 35-3. Cálculo de los sólidos totales disueltos de cada muestra de agua termal.

COD	Fuente termal	Vaso vacío	Vaso+sólidos	Sólidos (mg/50ml)	TDS (mg/L)	Muestra requerida (ml)	Ácido nítrico (ml)
1	Cunugyacu 1	65,40868	65,58202	173,34	3467	30	0,2
2	Cunugyacu 2	51,29359	51,47405	180,46	3609	30	0,2
3	Cunugyacu piscina	61,11612	61,22772	111,6	2232	45	0,3
4	Aguaján	50,03005	50,06126	31,21	624	160	1
5	Huapante tanque	50,68668	50,74708	60,4	1208	85	0,5
6	Huapante represa	59,14236	59,19477	52,41	1048	100	0,6
7	Calera pantano	61,73338	61,94214	208,76	4175	25	0,2
8	Calera acequia	52,33918	52,49980	160,62	3212	35	0,2
9	Calera río	69,73216	69,89886	166,7	3334	30	0,2
10	Santa clara	69,58076	69,6355	54,74	1095	95	0,6
11	Santa Ana cueva	49,68097	50,10648	425,51	8510	15	0,1
12	Santa Ana chorrera	50,77894	50,88430	105,36	2107	50	0,3
13	Virgen 1	61,26606	61,601	334,94	6699	15	0,1
14	Virgen 2	52,24114	52,6391	397,96	7959	15	0,1
15	Salado tanque	55,89764	56,38405	486,41	9728	15	0,1
16	Salado acequia	51,5459	51,87151	325,61	6512	20	0,1
17	Salado río	54,45772	54,91218	454,46	9089	15	0,1
18	Salado piscina cubierta	50,26072	50,71815	457,43	9149	15	0,1
19	Salado piscina descubierta	65,52248	65,88822	365,74	7315	15	0,1

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

La parte final de la evaporación se la realiza en una plancheta con un background radiactivo medido previamente, de tal manera que los sólidos se depositen uniformemente en el fondo de dicha plancheta y los sólidos totales disueltos obtenidos se someten a medición de radiación alfa/beta en el equipo LUDLUM.



Gráfico 13-3. Plancheta de muestreo vacía (izquierda) y plancheta de muestreo con los sólidos totales disueltos (derecha).

Fuente: (Wilson Reino, 2016)

Luego se calcula concentración de actividad con la fórmula (3.12) donde se incluye la tasa de conteo, la eficiencia de detección y el coeficiente de corrección para el espesor másico.

$$A = \frac{CPS}{\epsilon CV} \text{ (Bq/L)} \quad (3.12)$$

Donde:

CPS son las cuentas por segundo que da el equipo para los conteos alfa y beta (tasa de conteo),

C es el factor de auto absorción derivado de las curvas de eficiencia,

ϵ es la eficiencia ya sea alfa o beta,

V es el volumen de la muestra (1 L).

Basado en este diseño experimental se calcularon y procesaron los datos recolectados en el monitoreo de tipo alfa/beta. Donde ciertas mediciones dieron valores de radiactividad no detectables (ND) como se muestra en la Tabla 36-3.

Tabla 36-3. Cálculo de la concentración de actividad de los sólidos de cada fuente termal.

COD	Fuente termal	Conteo alfa	Conteo beta	Espesor másico de la muestra (mg/cm ²)	Factor de auto absorción α	Factor de auto absorción β	α (Bq/L)	β (Bq/L)
		CPS	CPS					
1	Cunugyacu 1	-0,00028	-0,045	6,36	0,086	0,714	ND	ND
2	Cunugyacu 2	0,00028	-0,016	7,83	0,072	0,647	0,86	ND
3	Cunugyacu piscina	0,00000	0,001	5,46	0,094	0,755	0,00	0,040
4	Aguaján	-0,00028	-0,026	4,90	0,100	0,780	ND	ND
5	Huapante tanque	0,00111	0,015	5,34	0,095	0,760	0,91	0,282
6	Huapante represa	0,00028	0,001	4,74	0,101	0,787	0,18	0,021
7	Calera pantano	0,00000	0,001	6,22	0,087	0,720	0,00	0,038
8	Calera acequia	0,00028	-0,008	5,90	0,090	0,735	0,59	ND
9	Calera río	-0,00028	0,009	2,91	0,118	0,870	ND	0,440
10	Santa clara	0,00111	-0,003	5,24	0,096	0,764	0,81	ND
11	Santa Ana cueva	-0,00028	0,001	4,38	0,104	0,803	ND	0,084
12	Santa Ana chorrera	0,00083	-0,014	6,18	0,088	0,722	1,27	ND
13	Virgen 1	-0,00083	-0,009	3,78	0,110	0,831	ND	ND
14	Virgen 2	0,00056	-0,009	4,75	0,101	0,787	2,45	ND
15	Salado tanque	-0,00028	-0,006	8,62	0,065	0,612	ND	ND
16	Salado acequia	-0,00028	-0,012	7,73	0,073	0,652	ND	ND
17	Salado río	0,00000	-0,001	7,16	0,078	0,678	0,00	ND
18	Salado piscina cubierta	-0,00083	-0,020	4,33	0,105	0,806	ND	ND
19	Salado piscina descubierta	0,00000	-0,019	5,71	0,092	0,743	0,00	ND

Realizado por: Wilson Reino, 2016

3.9.3.2. Análisis por espectrometría gamma

A partir de cada espectro gamma obtenido (Ver 4.2) se hizo una búsqueda de fotopicos, con los fotopicos característicos de cada radioisótopo se identificaron a los elementos radiactivos. Luego se efectuó un ajuste gaussiano a los picos del espectro, una integración del área bajo la curva del pico identificado (Ver Gráfico 14-3.), el cálculo de la tasa de conteo en dependencia del tiempo de adquisición del espectro y el cálculo de la concentración de actividad de cada una de las muestras termales. Estos datos se han recopilado en las tablas mostradas en la sección 3.8.2.

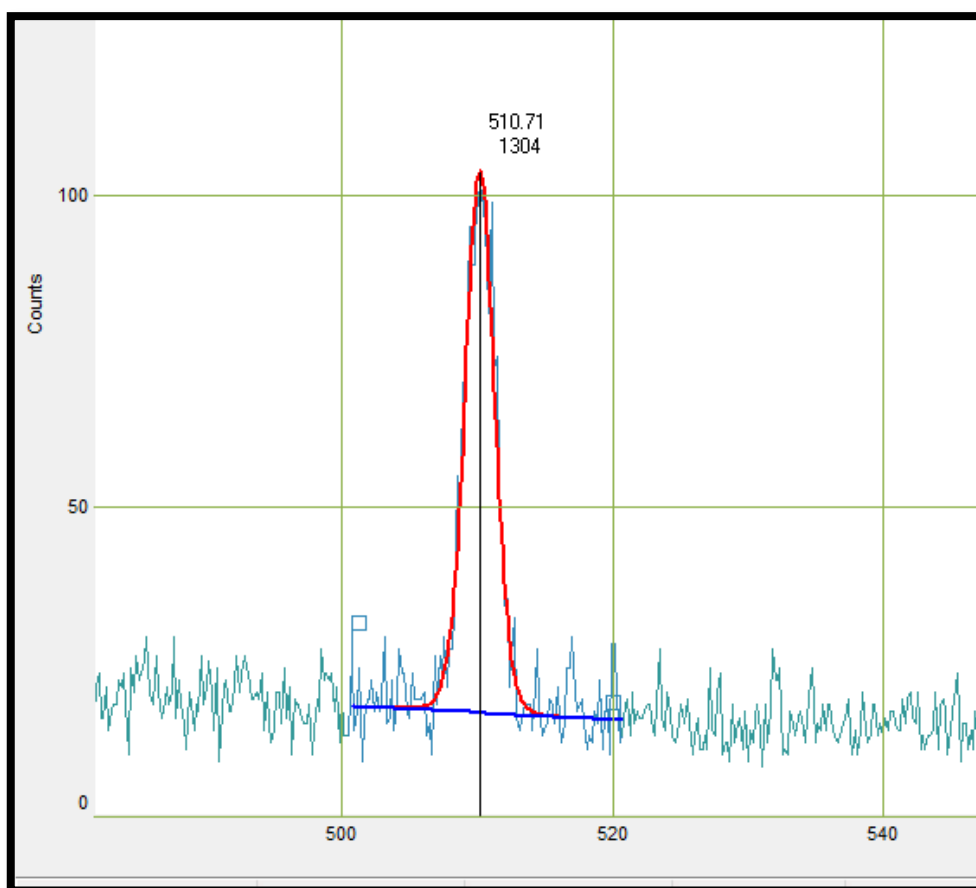


Gráfico 14-3. Ajuste gaussiano sobre un fotopico de un espectro gamma, para integrar su área y cuantificar su actividad.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Con la información obtenida de los espectros gamma y los fotopicos detectados se ha construido un esquema de las fuentes termales y los radioisótopos encontrados con su respectiva concentración de actividad.

Tabla 37-3. Radionúclidos identificados en los espectros gamma de las fuentes termales.

COD	Fuente termal	Bi-214	Pb-214	Po-210	K-40	Ac-228
		(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)
1	Cunugyacu 1	-	-	-	-	-
2	Cunugyacu 2	40	-	-	-	-
3	Cunugyacu piscina	50	16	-	-	-
4	Aguaaján	-	-	-	-	-
5	Huapante tanque	-	-	-	-	1,4
6	Huapante represa	31	-	-	-	-
7	Calera pantano	49	-	-	-	-
8	Calera acequia	42	-	5200	-	2,5
9	Calera río	43	-	-	-	-
10	Santa clara	32	11	-	-	-
11	Santa Ana cueva	50	14	-	1,7	-
12	Santa Ana chorrera	35	-	-	-	-
13	Virgen 1	-	-	-	2,5	-
14	Virgen 2	-	-	-	2,4	-
15	Salado tanque	-	-	-	2,7	0,72
16	Salado acequia	207	40	5700	1,7	2,4
17	Salado río	58	19	-	2,2	-
18	Salado piscina cubierta	285	64	4500	7,9	-
19	Salado piscina descubierta	94	18	-	1,8	-

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Cálculo de la concentración de actividad alfa/beta

En el análisis de emisiones radiactivas alfa se han hallado valores desde un valor no detectable hasta 2,45 Bq/L y en emisiones radiactivas beta se han encontrado valores desde no detectables hasta 0,440 Bq/L como se muestra en la Tabla 38-4. Se pudo notar que algunas planchetas de lectura tenían un background radiactivo alto y al someter la muestra al conteo alfa/beta se obtuvieron valores compatibles con el background.

La OMS nos da valores máximos de actividad alfa/beta total para exposición interna debida al agua de consumo, pero debido a que estas aguas se utilizan en balnearios, hay que tomar en cuenta la exposición externa debida a cada radioisótopo emisor gamma.

Cálculo de la concentración de actividad alfa/beta gruesa de los sólidos totales disueltos presentes en las aguas.

Tabla 38-4. Actividad alfa/beta gruesa de las fuente termales de la provincia de Tungurahua

COD	Fuente termal	α (Bq/L)	β (Bq/L)
1	Cunugyacu 1	ND	ND
2	Cunugyacu 2	0,86	ND
3	Cunugyacu piscina	0,00	0,040
4	Aguaján	ND	ND
5	Huapante tanque	0,91	0,282
6	Huapante represa	0,18	0,021
7	Calera pantano	0,00	0,038
8	Calera acequia	0,59	ND
9	Calera río	ND	0,440
10	Santa clara	0,81	ND
11	Santa Ana cueva	ND	0,084
12	Santa Ana chorrera	1,27	ND
13	Virgen 1	ND	ND
14	Virgen 2	2,45	ND
15	Salado tanque	ND	ND
16	Salado acequia	ND	ND
17	Salado río	0,00	ND
18	Salado piscina cubierta	ND	ND
19	Salado piscina descubierta	0,00	ND

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

4.1.2. Cálculo de concentración de actividad de los radioisótopos encontrados en las muestras de agua

De los espectros gamma de las fuentes termales se obtuvieron una serie de radioisótopos de la serie del U-238 como el Bi-214, Pb-214 y el Po-210; de la serie del Th-232 se identificó al Ac-228 y de los radionúclidos no en serie, el K-40 se pudo encontrar en varias fuentes termales.

En la Tabla 39-4 se puede identificar los radioisótopos encontrados en cada fuente termal con su respectiva concentración de actividad, la cual fue hallada promediando las actividades de los fotopicos detectados por el espectrómetro. Los reportes de laboratorio generados por el laboratorio de VAR utilizando el software SpectrLineGP se enlistan en el Anexo C.

Además en el mismo Anexo C se muestra la actividad mínima detectable (MDA) de cada radioisótopo, lo cual es la consideración utilizada para no incluir ciertos elementos en las tablas

(a pesar de que fueron identificados por sus fotopico), debido a que la incertidumbre en su cuantificación es muy grande. En estos casos se denota con <MDA

Tabla 39-4. Radioisótopos identificados por espectrometría gamma.

COD	Fuente termal	Bi-214	Pb-214	Po-210	K-40	Ac-228
		(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)	(Bq/L)
1	Cunugyacu 1	-	-	-	-	-
2	Cunugyacu 2	40	-	-	-	-
3	Cunugyacu piscina	50	16	-	-	-
4	Aguaján	-	-	-	-	-
5	Huapante tanque	-	-	-	-	<MDA
6	Huapante represa	31	-	-	-	-
7	Calera pantano	49	-	-	-	-
8	Calera acequia	42	-	<MDA	-	2,5
9	Calera río	43	-	-	-	-
10	Santa clara	32	<MDA	-	-	-
11	Santa Ana cueva	50	<MDA	-	<MDA	-
12	Santa Ana chorrera	35	-	-	-	-
13	Virgen 1	-	-	-	2,5	-
14	Virgen 2	-	-	-	<MDA	-
15	Salado tanque	-	-	-	2,7	<MDA
16	Salado acequia	207	40	<MDA	<MDA	<MDA
17	Salado río	58	19	-	<MDA	-
18	Salado piscina cubierta	285	64	<MDA	7,9	-
19	Salado piscina descubierta	94	18	-	<MDA	-

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

4.1.3. Cálculo de la exposición externa

Partiendo de las concentraciones de actividad halladas para cada radioisótopo, se calculó la exposición externa que se debe a la presencia de éstos; basándose en las tablas del Anexo B de donde se tomó los coeficientes mostrados en la Tabla 40-4. Encontrándose valores tan pequeños que no contribuyen significativamente a la dosis efectiva anual que recibe la población. El cálculo se lo realizó considerando los coeficientes para exposición externa de una fuente de 1 litro de agua, a una distancia de 10 cm para rayos gamma.

Tabla 40-4. Coeficientes para exposición externa de los radioisótopos de las aguas termales

Radioisótopo	Bi-214	Pb-214	Po-210	K-40	Ac-228
Exposición externa	1,20E-02	3,60E-03	5,70E-08	9,40E-04	-
	mSv.h-1/MBq	mSv.h-1/MBq	mSv.h-1/MBq	mSv.h-1/MBq	mSv.h-1/MBq

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Tabla 41-4. Cálculo de la exposición externa debida a 1L de agua, de cada fuente termal a 10 cm de la fuente, considerando únicamente los rayos gamma.

COD	Fuente termal	Bi-214	Pb-214	Po-210	K-40	Ac-228
		mSv/año	mSv/año	mSv/año	mSv/año	mSv/año
1	Cunugyacu 1	-	-	-	-	-
2	Cunugyacu 2	4,20E-03	-	-	-	-
3	Cunugyacu piscina	5,26E-03	5,05E-04	-	-	-
4	Aguaaján	-	-	-	-	-
5	Huapante tanque	-	-	-	-	-
6	Huapante represa	3,26E-03	-	-	-	-
7	Calera pantano	5,15E-03	-	-	-	-
8	Calera acequia	4,42E-03	-	-	-	-
9	Calera río	4,52E-03	-	-	-	-
10	Santa clara	3,36E-03	-	-	-	-
11	Santa Ana cueva	5,26E-03	-	-	-	-
12	Santa Ana chorrera	3,68E-03	-	-	-	-
13	Virgen 1	-	-	-	2,06E-05	-
14	Virgen 2	-	-	-	-	-
15	Salado tanque	-	-	-	2,22E-05	-
16	Salado acequia	2,18E-02	1,26E-03	-	-	-
17	Salado río	6,10E-03	5,99E-04	-	-	-
18	Salado piscina cubierta	3,00E-02	2,02E-03	-	6,51E-05	-
19	Salado piscina descubierta	9,88E-03	5,68E-04	-	-	-

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Un caso particular es el Po-210, que a pesar de que reportó en valores muy elevados, la actividad mínima detectable (MDA) está muy por encima de esos valores y no se puede cuantificar con certeza. Y aunque se consideraran estos valores para el cálculo, no contribuye a aumentar significativamente la exposición externa y por lo tanto la dosis efectiva anual para la población está por debajo de los límites permitidos. En el Gráfico 15-4 se puede apreciar dos fotopicos, entre ellos el de Po-210, comparados con el background.

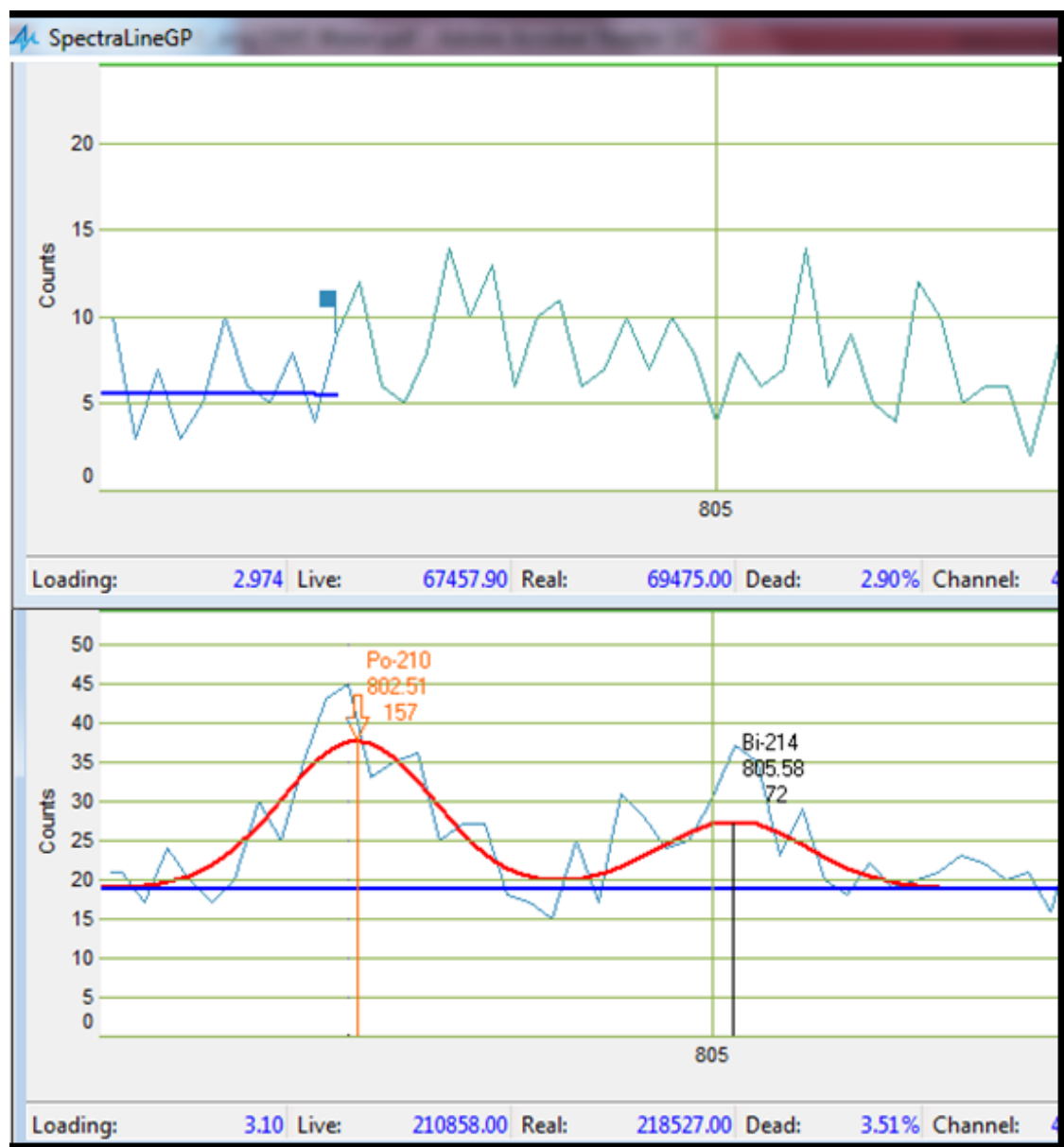


Gráfico 15-4. Espectros gamma de la zona de los 800 KeV, arriba espectro del background radiactivo sin picos detectables, abajo espectro de la fuente termal de código 18 con la detección de los picos del Po-210 y Bi-214 mostrando su área total y su incertidumbre.

Realizado por: Wilson Reino, 2016

4.2. Curvas características de la experimentación

Se han elaborado gráficos de barras con los datos obtenidos en la investigación para una mejor visualización de los fenómenos estudiados y se presentan también los espectros gamma obtenidos de cada fuente termal.

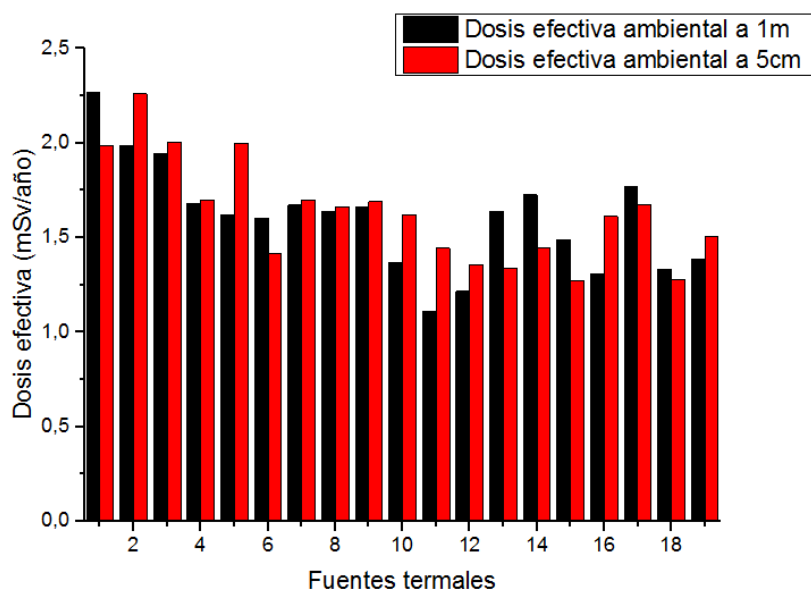


Gráfico 16-4. Dosis efectiva generada por la radiación natural ambiental de fondo (background ambiental) a 1m y a 5cm de cada fuente termal.

Realizado por: Wilson Reino, 2016

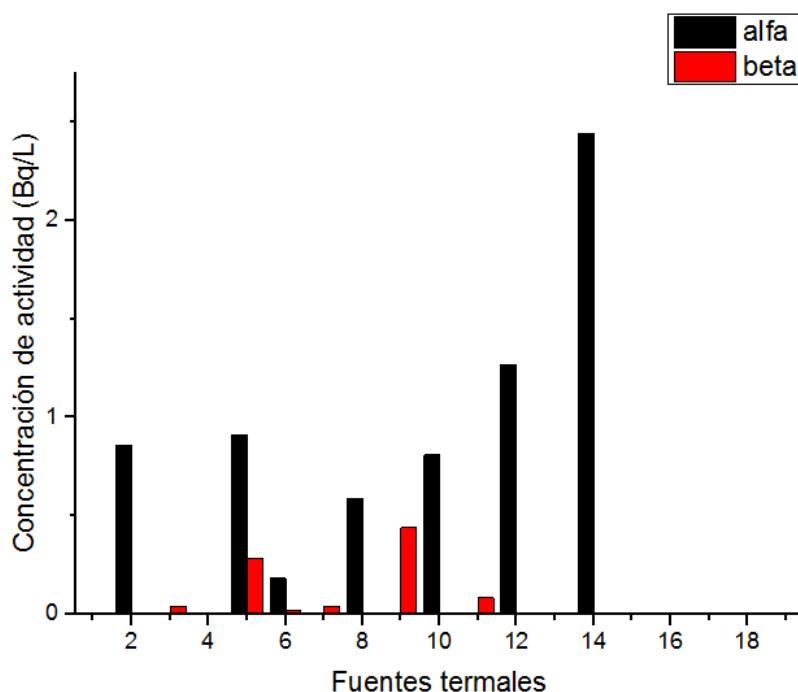


Gráfico 17-4. Concentración de actividad alfa/beta total de las fuentes termales

Realizado por: Wilson Reino, 2016

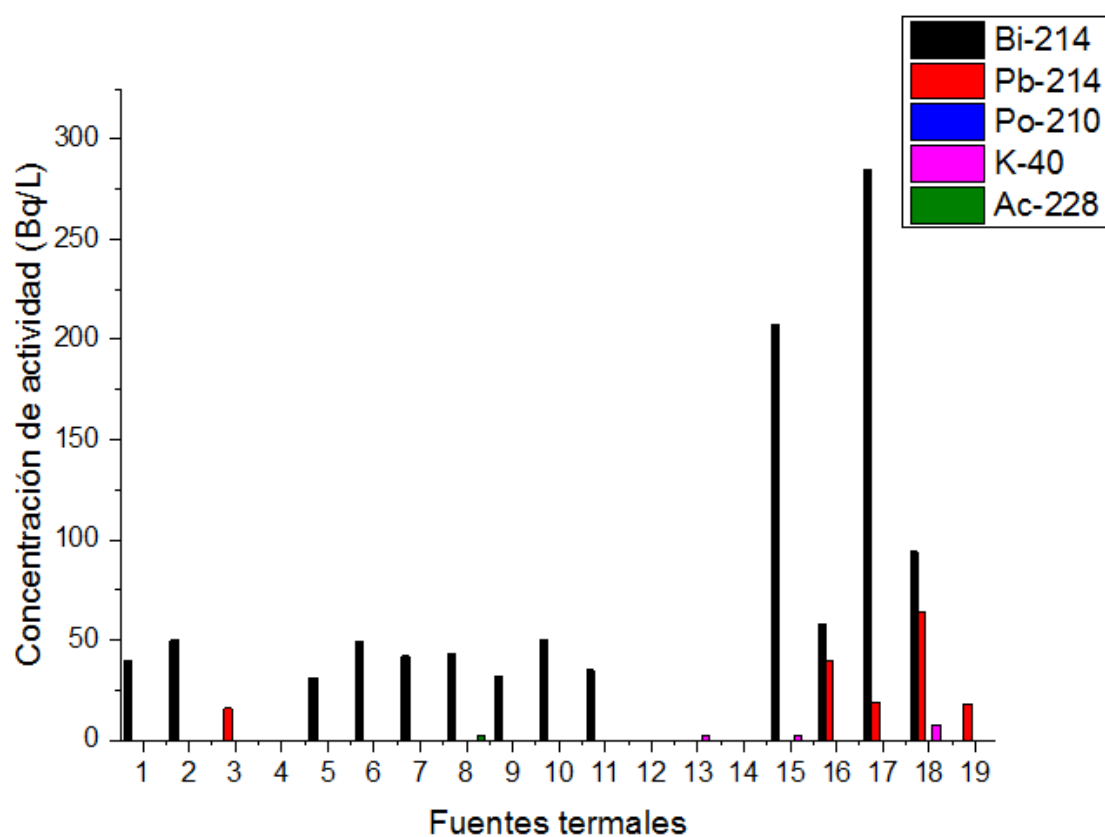


Gráfico 18-4.Concentración de actividad de los radioisótopos encontrados en cada fuente termal.

Realizado por: Wilson Reino, 2016

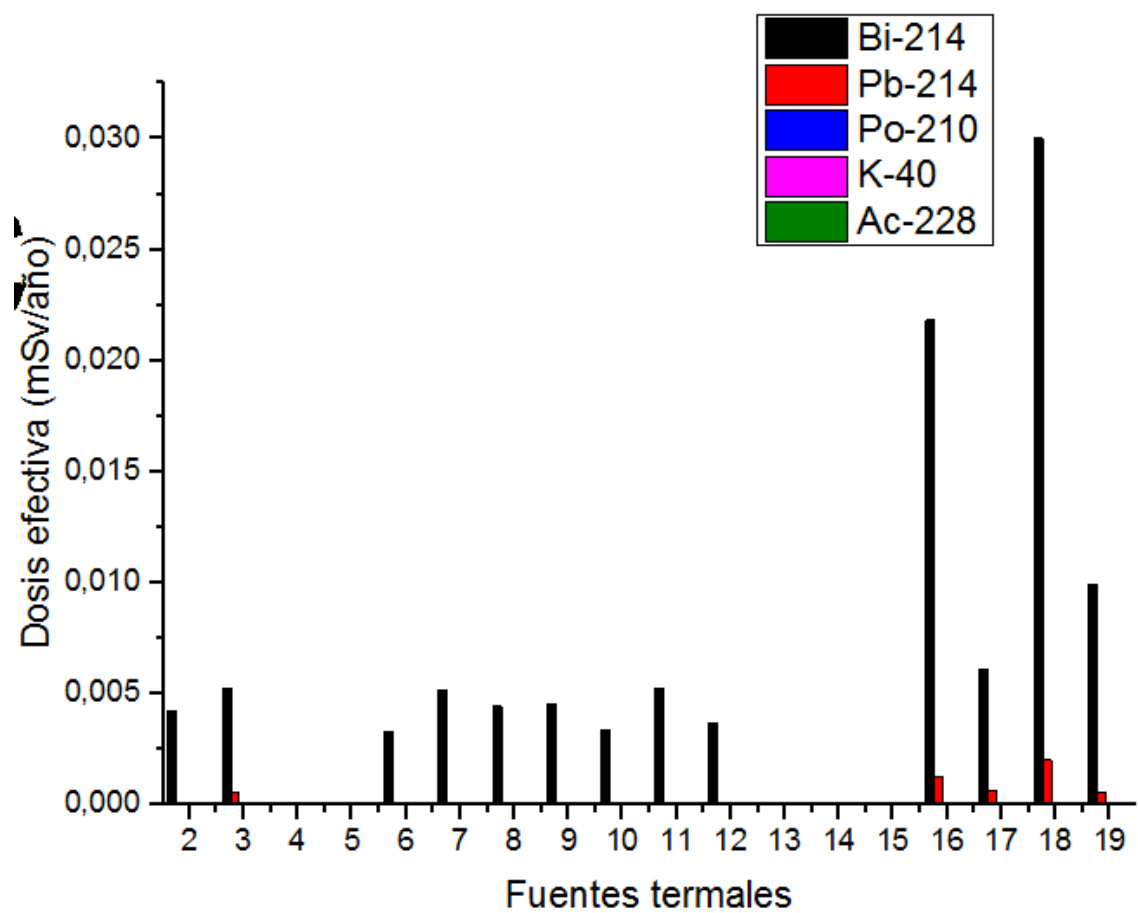


Gráfico 19-4. Dosis efectiva anual generada por exposición externa a cada radioisótopo encontrado.

Realizado por: Wilson Reino, 2016

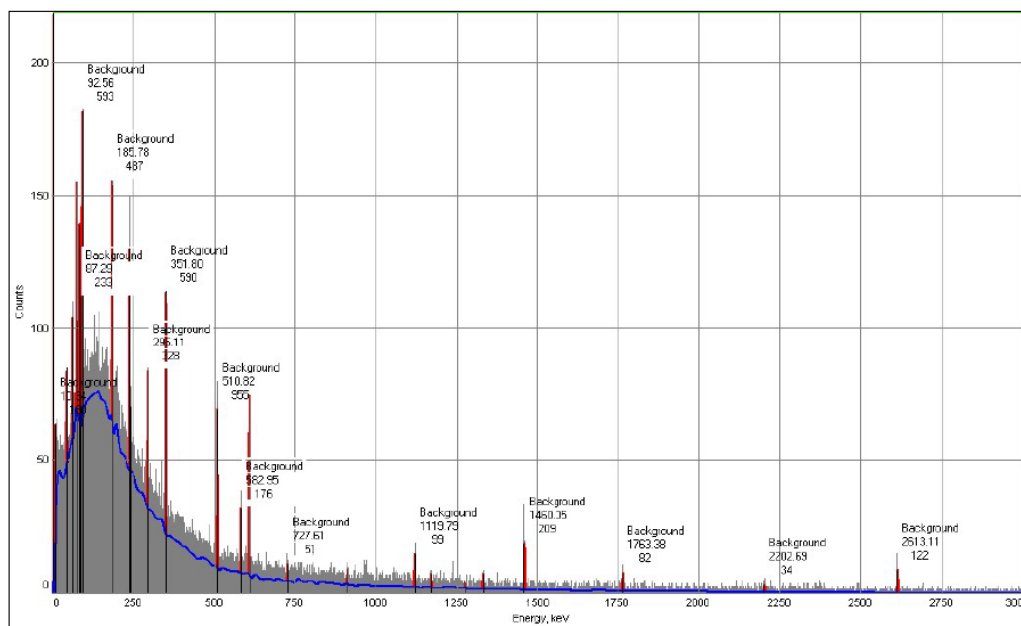


Gráfico 20-4. Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu 1, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

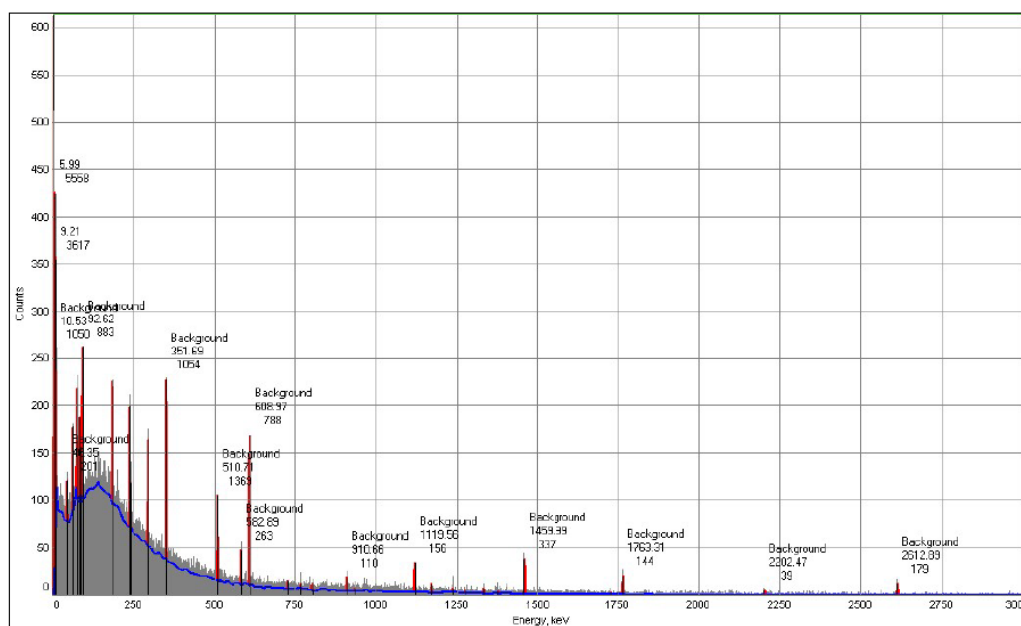


Gráfico 21-4 Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu 2, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

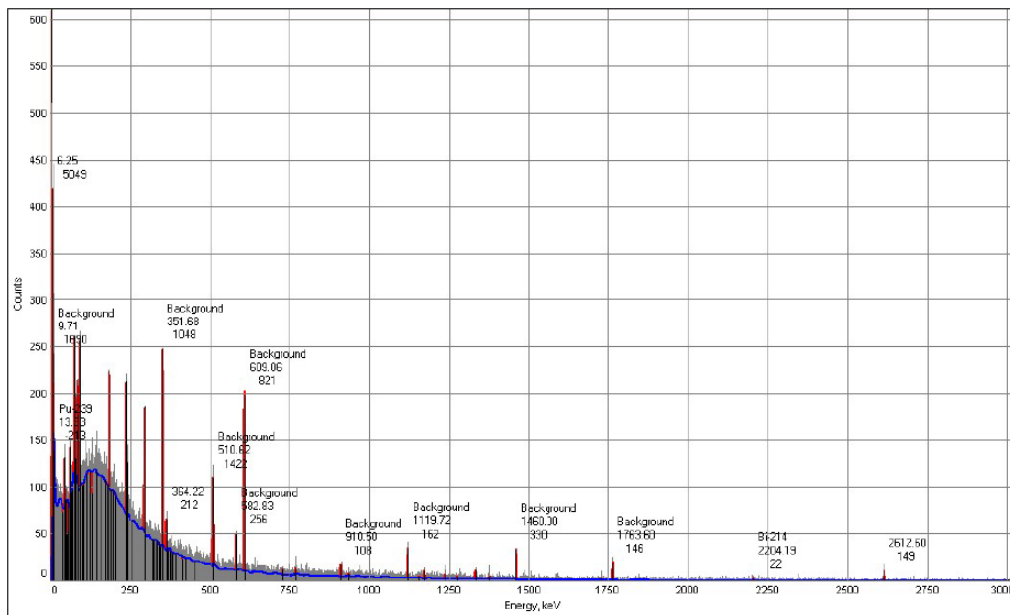


Gráfico 22-4.Espectro gamma de la fuente termal Cunugyacu piscina, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

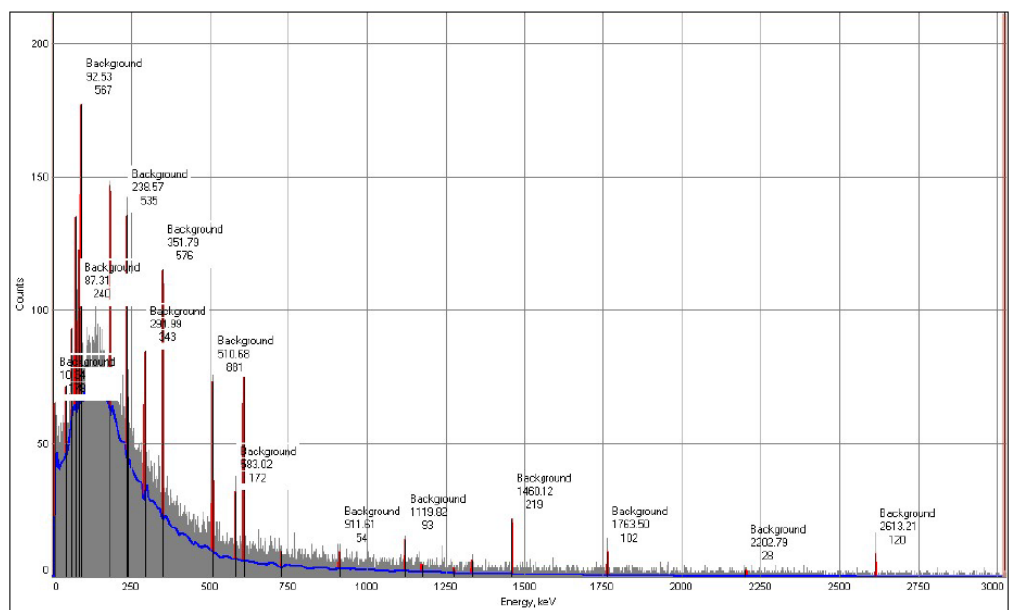


Gráfico 23-4. Espectro gamma de la fuente termal Aguaján, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

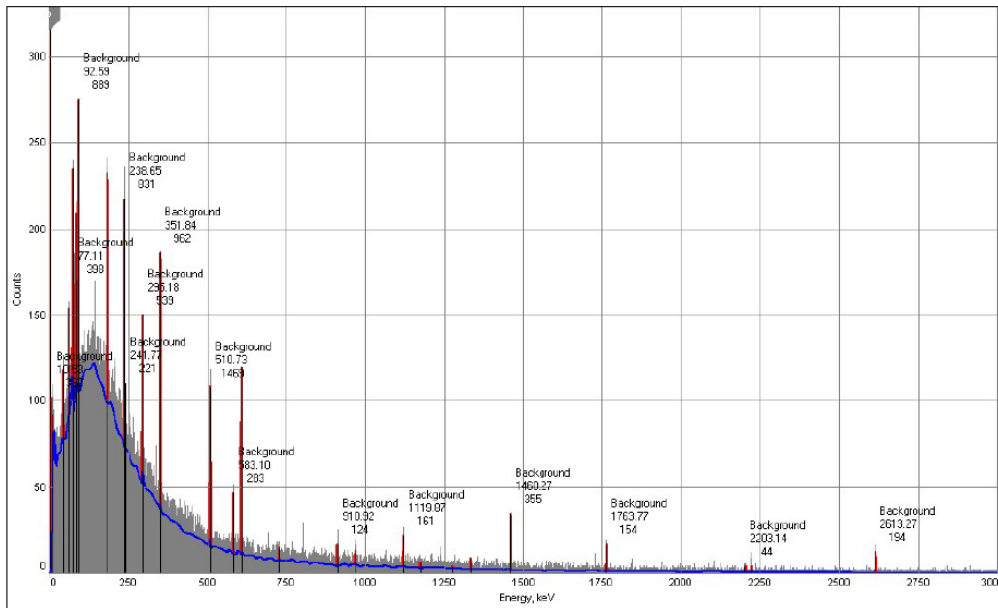


Gráfico 24-4. Espectro gamma de la fuente termal Huapante tanque, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

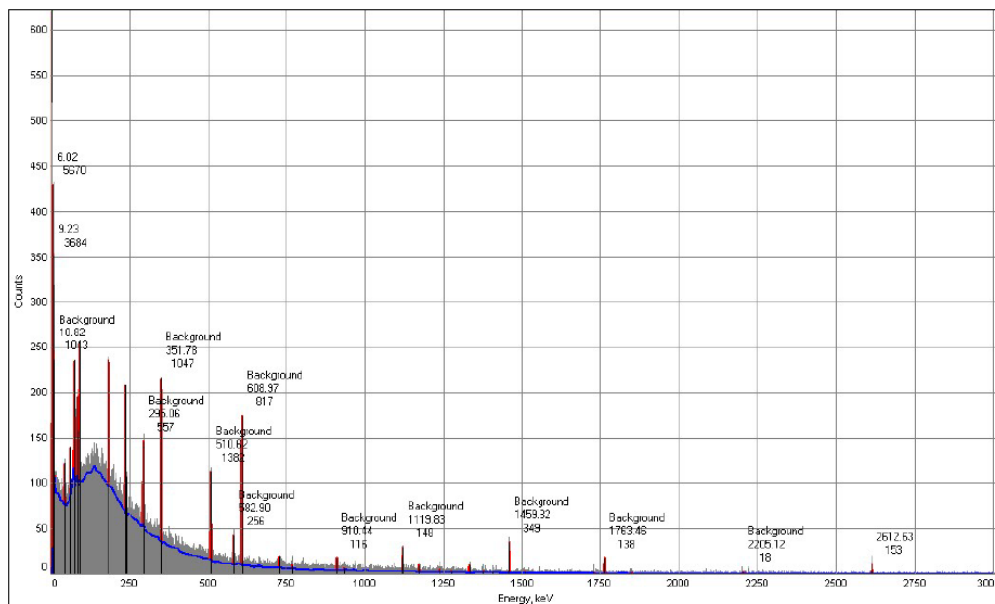


Gráfico 25-4. Espectro gamma de la fuente termal Huapante represa, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

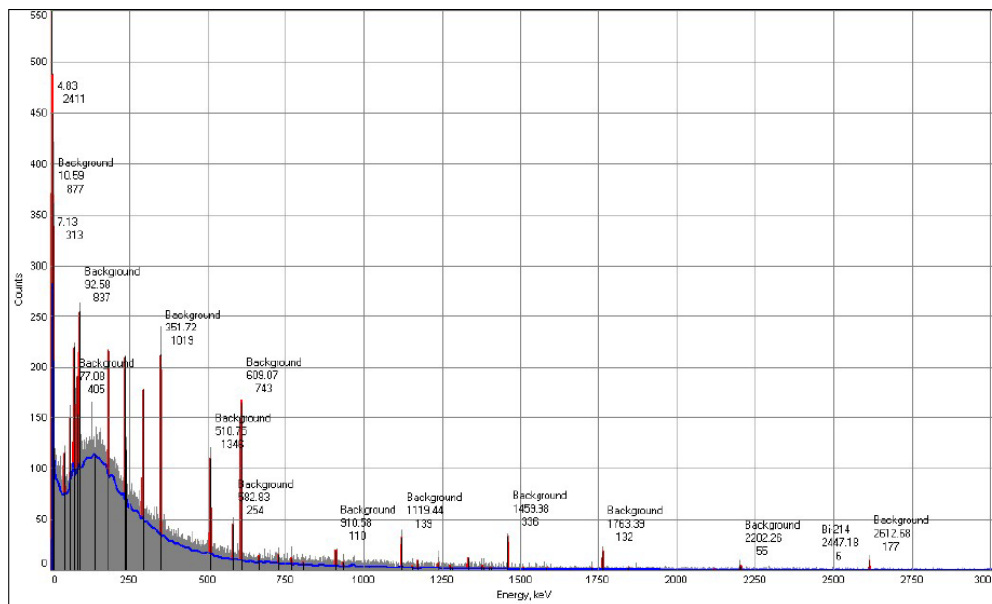


Gráfico 26-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera pantano, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

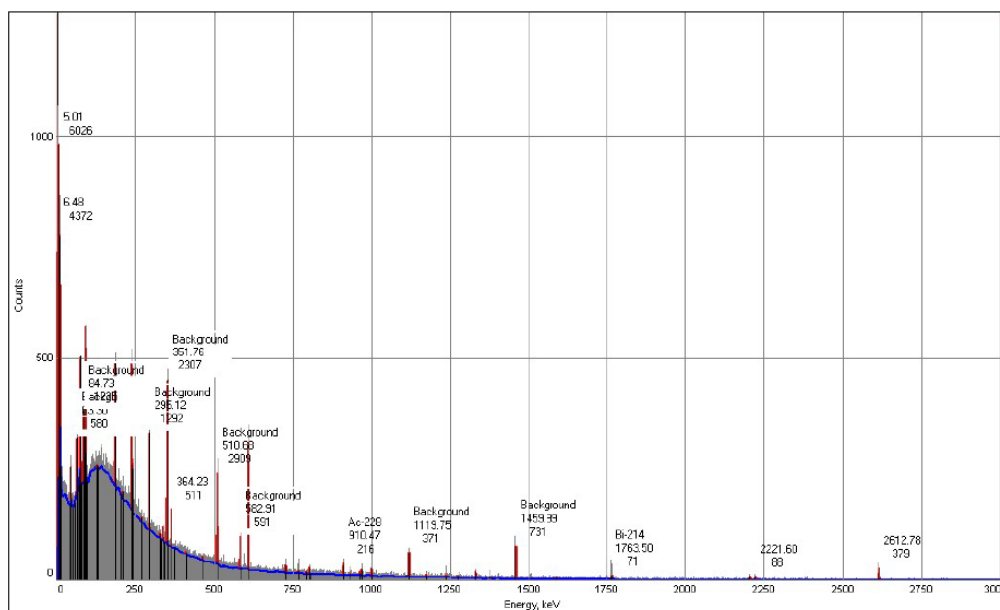


Gráfico 27-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera acequia, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

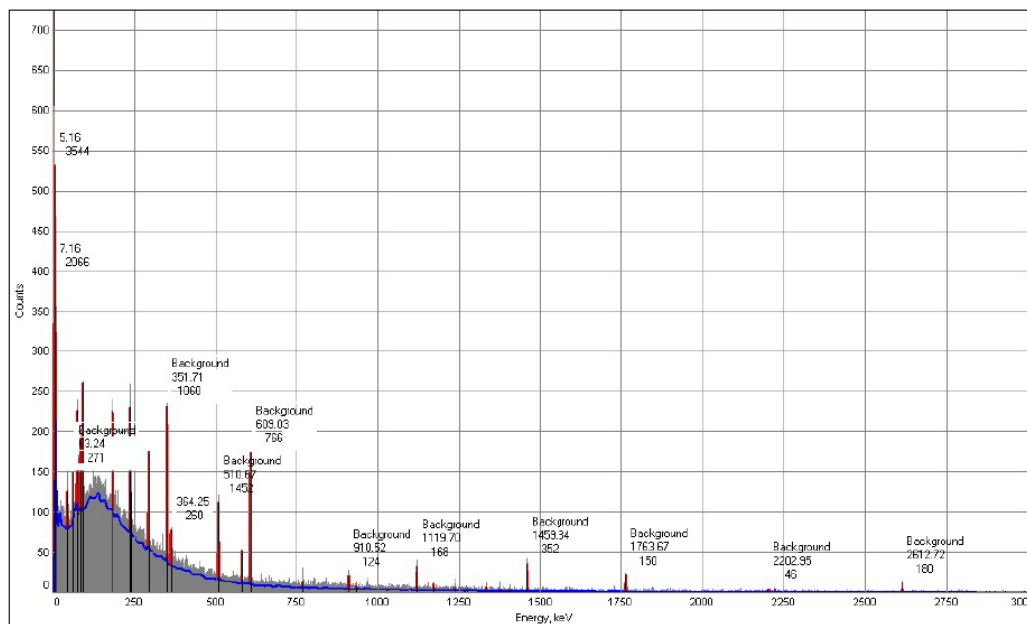


Gráfico 28-4. Espectro gamma de la fuente termal Calera río, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

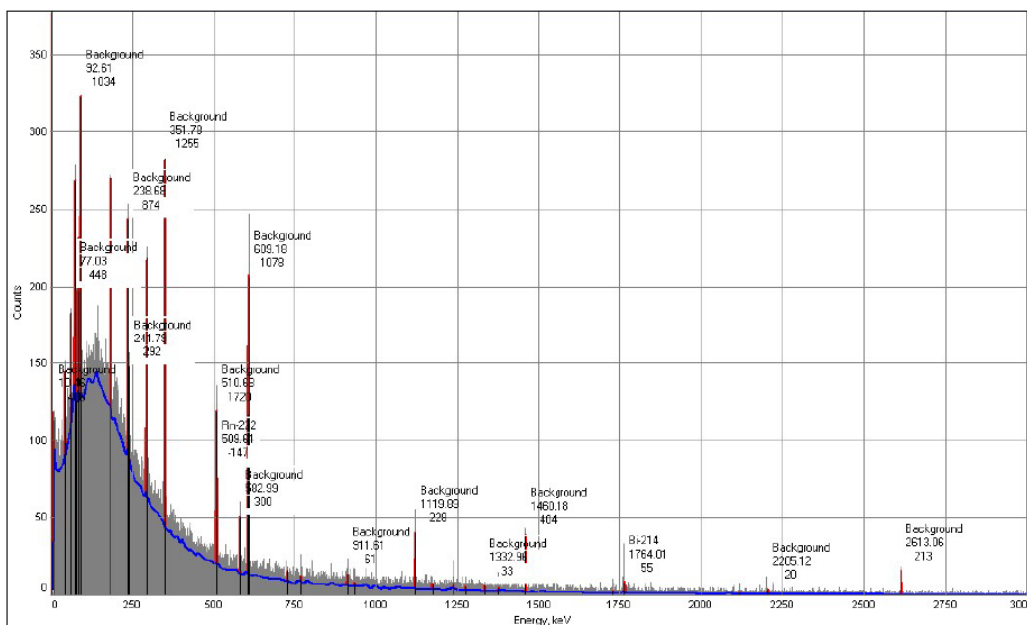


Gráfico 29-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Clara, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

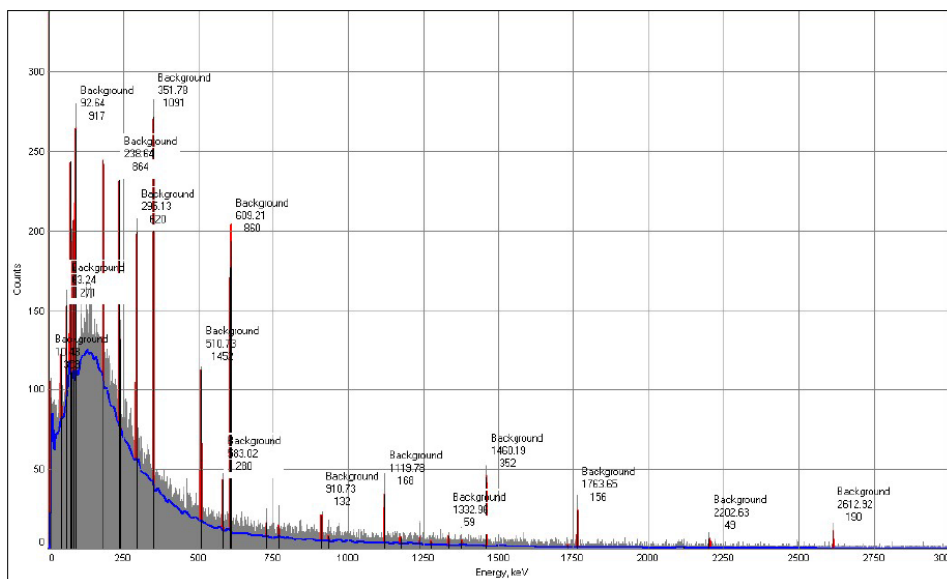


Gráfico 30-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Ana cueva, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

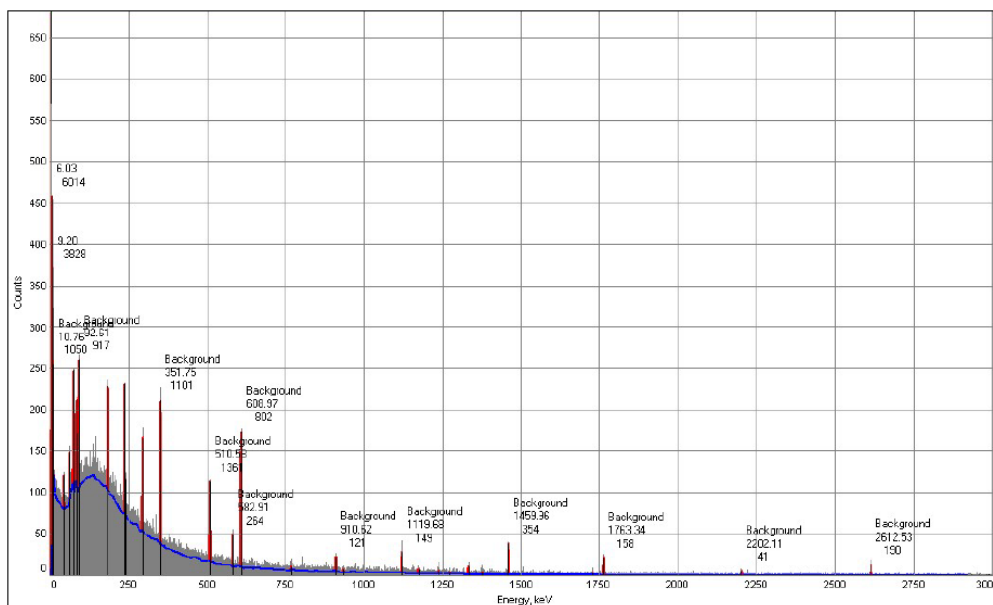


Gráfico 31-4. Espectro gamma de la fuente termal Santa Ana chorrera, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

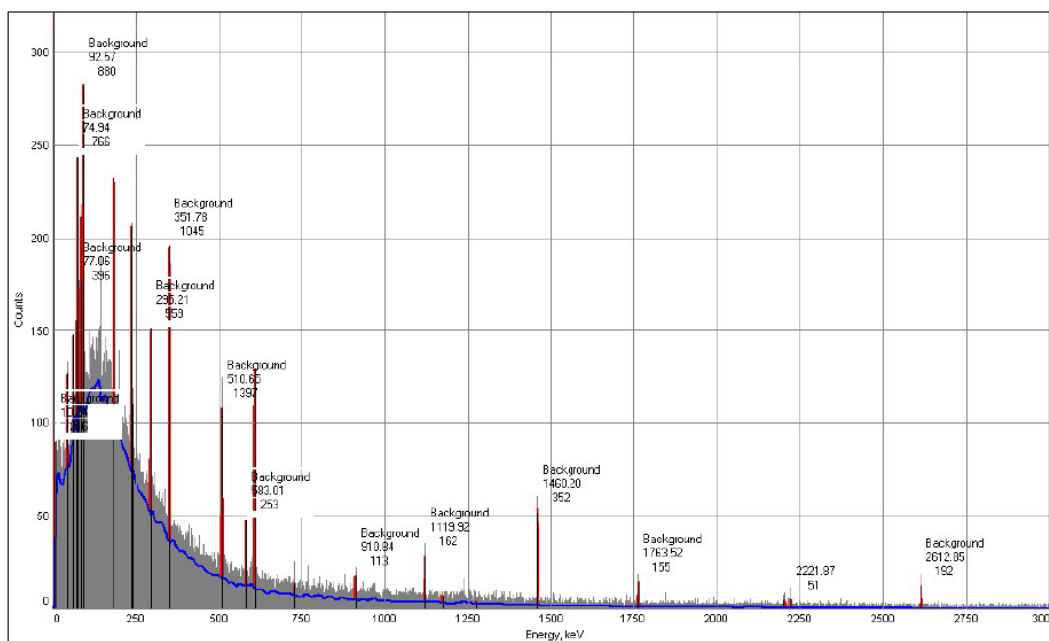


Gráfico 32-4.Espectro gamma de la fuente termal Virgen 1, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

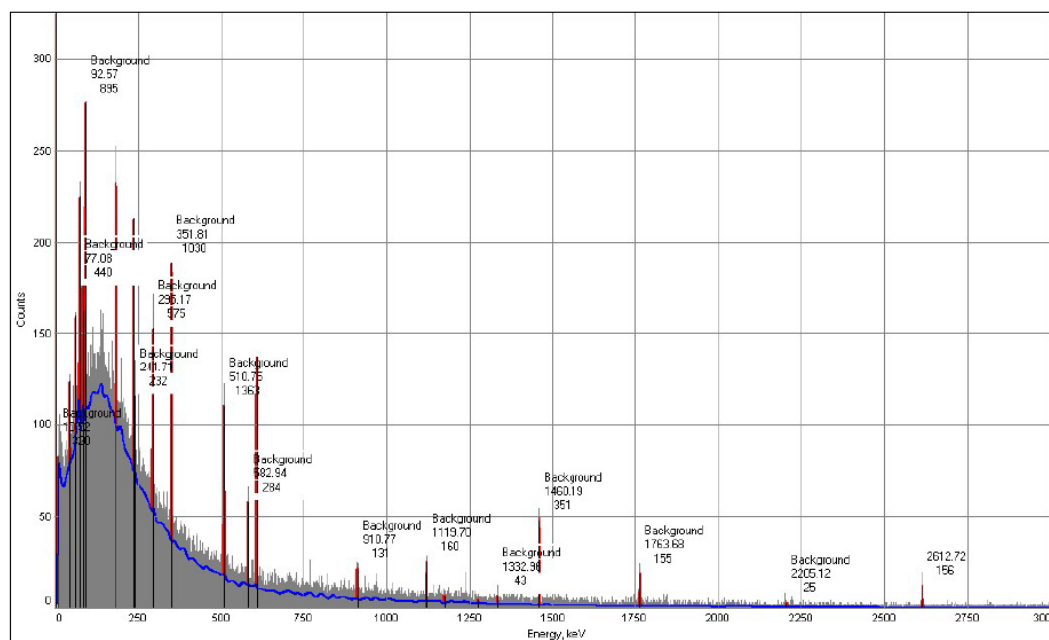


Gráfico 33-4.Espectro gamma de la fuente termal Virgen 2, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

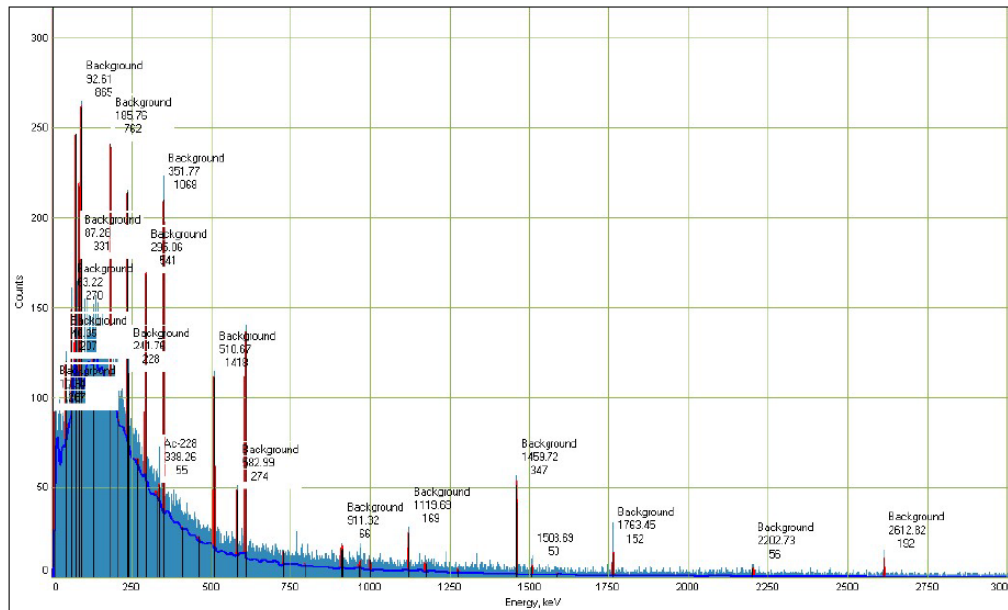


Gráfico 34-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado tanque, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

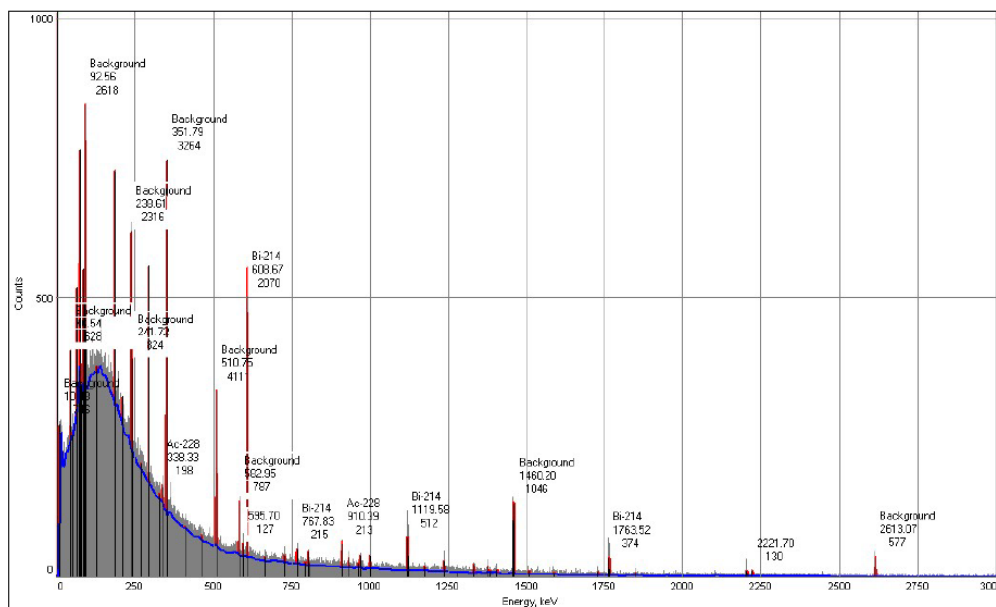


Gráfico 35-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado acequia, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

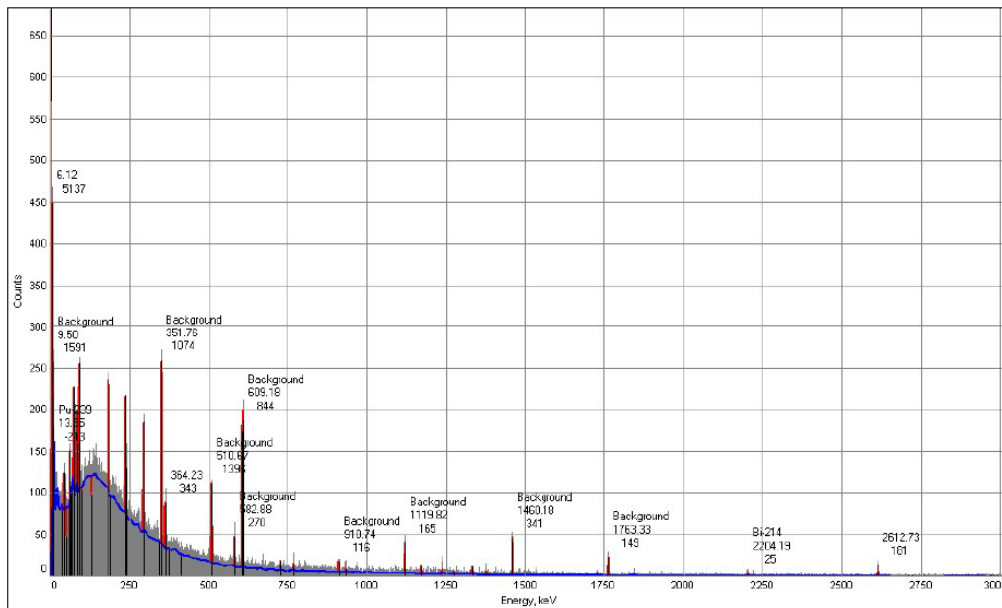


Gráfico 36-4.Espectro gamma de la fuente termal Salado río, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

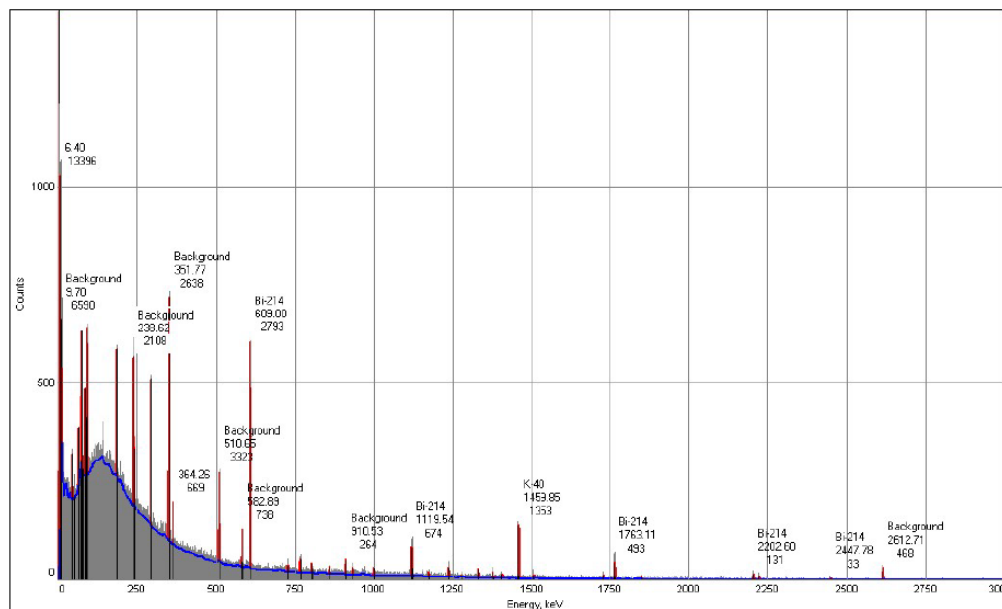


Gráfico 37-4.Espectro gamma de la fuente termal Salado piscina cubierta, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

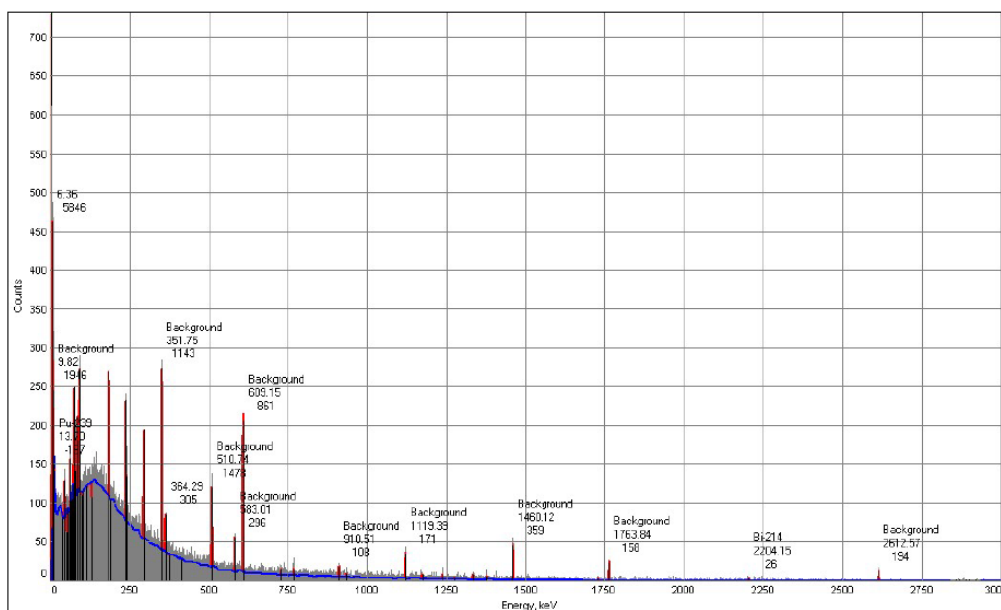


Gráfico 38-4. Espectro gamma de la fuente termal Salado piscina descubierta, restado el background radiactivo y con sus picos identificados.

Fuente: (SCAN)

Realizado por: Wilson Reino, 2016

CONCLUSIONES

Las 19 fuentes termales de la provincia de Tungurahua analizadas en esta investigación tienen cercanía con centros eruptivos y además proximidad a ciertas fallas geológicas. De las cuales, las 3 fuentes del complejo termal Cunugyacu están ubicadas entre los volcanes Chimborazo y Carihuayrazo junto a una falla al noroeste del volcán Chimborazo; la fuente de Aguaján se ubica de manera equidistante entre el volcán Carihuayrazo y el volcán Sagoatoa en el cañón del río Ambajo y un poco alejado de las fallas geológicas registradas; las 2 fuentes del complejo Huapante tienen cercanía con el volcán Sagoatoa y está en una zona de centros de emisión secundarias, además de estar ubicado justo en la falla geológica que va a lo largo de la rivera del río Culapachán. Y las 13 fuentes restantes se encuentran en las faldas del volcán Tungurahua cerca de la falla de Ulba y del encañonado del río Pastaza.

En el análisis de emisiones radiactivas alfa se han hallado valores desde un valor no detectable hasta 2,45 Bq/L como valor máximo y en emisiones radiactivas beta se han encontrado valores desde no detectables hasta 0,440 Bq/L como máximo.

Ninguna de las 19 fuentes termales supera al límite establecido por la Organización Mundial de la Salud para actividad beta grueso en agua de consumo, sin embargo en actividad alfa grueso, las fuentes: Cunugyacu 2 con 0,86 Bq/L, Huapante tanque con 0,91 Bq/L, Calera acequia con 0,59 Bq/L, Santa Clara con 0,81 Bq/L, Santa Ana Chorrera con 1,27 Bq/L y Virgen 2 con 2,45 Bq/L superan el límite para agua de consumo.

Por espectrometría gamma se caracterizó ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Po , ^{40}K y ^{228}Ac en las 19 fuentes termales con concentraciones desde 0,72 Bq/L hasta 285 Bq/L. En 13 fuentes de las 19 estudiadas, se halló ^{214}Bi , en 6 fuentes se halló ^{214}Pb , en 3 fuentes se halló ^{210}Po , en 8 fuentes se halló ^{40}K y en 4 fuentes se halló ^{228}Ac . Las fuentes con más alta concentración de actividad fueron Calera acequia, Salado acequia y Salado piscina cubierta con 5200 Bq/L, 5700 Bq/L y 4500 Bq/L respectivamente para el isótopo de ^{210}Po , que sin embargo no es un valor estadísticamente confiable debido a que la actividad mínima detectable (MDA) es 8000 Bq/L para ^{210}Po .

En el cálculo de la exposición externa para la radiación generada por los radioisótopos caracterizados por espectrometría gamma se concluye que no existe riesgo radiológico para la salud ya que el valor máximo dosis efectiva es de 3,00E-02 mSv/año, el cual fue medido en la fuente Salado piscina cubierta, para el Bi-214, valor que fue calculado considerando una exposición continua. Las otras fuentes tienen valores con orden de magnitud mucho más bajas y al ser 1mSv/año el límite anual máximo estipulado para la población, no existe peligro alguno.

RECOMENDACIONES

Debido a que el espectrómetro gamma está en el subsuelo del MEER la contribución de radiación de origen terrestre es alta y puede enmascarar las mediciones, por lo que se recomienda conseguir un fondo radiactivo del laboratorio más bajo para poder identificar con más facilidad los elementos presentes en las muestras y medir concentraciones mucho más pequeñas.

Se recomienda hacer un análisis más exhaustivo del complejo termal “El Salado” ubicado en Baños ya que fue el sitio donde más elementos radiactivos se hallaron y donde se encontraron valores más anómalos que en el resto de las fuentes.

Se recomienda extender esta investigación hacia la detección de radón, ya que los radioisótopos hallados, tales como el Bi-214, el Pb-214 y el Po-210 son la progenie de este gas radiactivo.

BIBLIOGRAFÍA

ARAGÓN, M. *Medición de radón en fuentes termales de la provincia de Imbabura y de Pichincha-Quito* : Universidad Central del Ecuador, 2001.

ATTIX, F.. *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. New York- United States : John Wiley & Sons, 1986. págs. 20-34.

TAO, Z. *Cancer mortality in the high background radiation areas of Yangjiang, China*: Journal of Radiation Research (Tokyo), págs. 31-41.

CARRASCO, J. et al. 2012. *Caracterización y elaboración de un inventario de fuentes geotérmicas de baja entalpia en la provincia de Chimborazo y propuesta de creación de un centro de investigación de energía geotérmica en la ESPOCH (Tesis)(Pregrado)*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba ,Ecuador. 2012.

DÁVILA, J. *Caracterización radiológica de agua potable en las ciudades de Zacatecas y Guadalupe, del Estado de Zacatecas, México. (Tesis)(Maestría)*. Zacatecas, México : Universidad Autónoma de Nuevo León, 2001.

TOMARCHIO, E. *Environmental Sample Measurements with Low-background Gamma-ray Spectrometric Systems*. Radiation Protection of the Public and the Environment, pág. 5.

GRAU, A *Métodos Físico-Químicos de Datación en Bienes de Interés Cultural*. Madrid : Academia BIC, 2013.

GUIRADO, D. *Grupo sobre Radiobiología clínica*. Madrid : Sociedad Española de Física Médica, 2003.

HERRANZ, M et al. *Uranium contents in raw waters from Biscay (Spain)*. s.l. : Applied Radiation and Isotopes, 1999, págs. 203-208.

IAEA. *Measurement of Radionuclides in Food and the Environment*. Viena : s.n., 1989.

ICRP. *PUBLICATION 103: RECOMMENDATIONS OF THE ICRP*. 2008, Radiation Protection Dosimetry, págs. 500-507.

SONG, G. *Indoor radon levels in selected hot spring hotels in Guangdong, China*. 2014, Science Direct, págs. 63-70.

BONIFACIO, J.L. *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA DETERMINAR RADON-222 MEDIANTE ESPECTROSCOPIA ALFA*. : INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES, 1992.

KHAN, F. *Physics of Radiation Therapy, 3rd edition*. Minneapolis, Minnesota : Department of Therapeutic Radiology, University of Minnesota, 2003.

KNOLL, G. *Radiation Detection and Measurement*. Michigan : John Wiley & Sons.

KOBAL, I et al. *Natural Radioactivity of Fresh Waters in Slovenia, Yugoslavia*. s.l. : Environmental International, 1990, págs. 141-154.

MILVY, P and COTHERN. *Scientific Background for the development of Regulations for Radionuclides in Drinking Water.* Chelsea , 1990.

FRAME, P. W. *Natural radioactivity in curative devices and spas.* 1992, Health Physics Vol 62 (Suppl), págs. S80-S82.

MAROVIC, J. *Natural Radioactivity of Thermal Springs in Croatia.* 1996, Environmental Radioactivity, págs. 1-3.

MASARIK, Jozef. *Origin and Distribution of Radionuclides in the Continental Environment..* 2009, Radioactivity in the Environment, págs. 1–25.

DELACROIX, D. et al. *Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook.* 2002, Journal of the ICRU, pág. 145.

CHAUDHURI, H. *Radon activity measurements around Bakreswar thermal springs.* India : Radiation Measurements, 2010, Radiation Measurements, págs. 143-146.

ICRP. *Recommendations of the International Commission on Radiological. Publication 103..* s.l. : Annals of the ICRP, 2008, Annals of the ICRP, págs. 2-4.

SYSTEM, Theremino. *Gamma Spectrometry.* 2015.

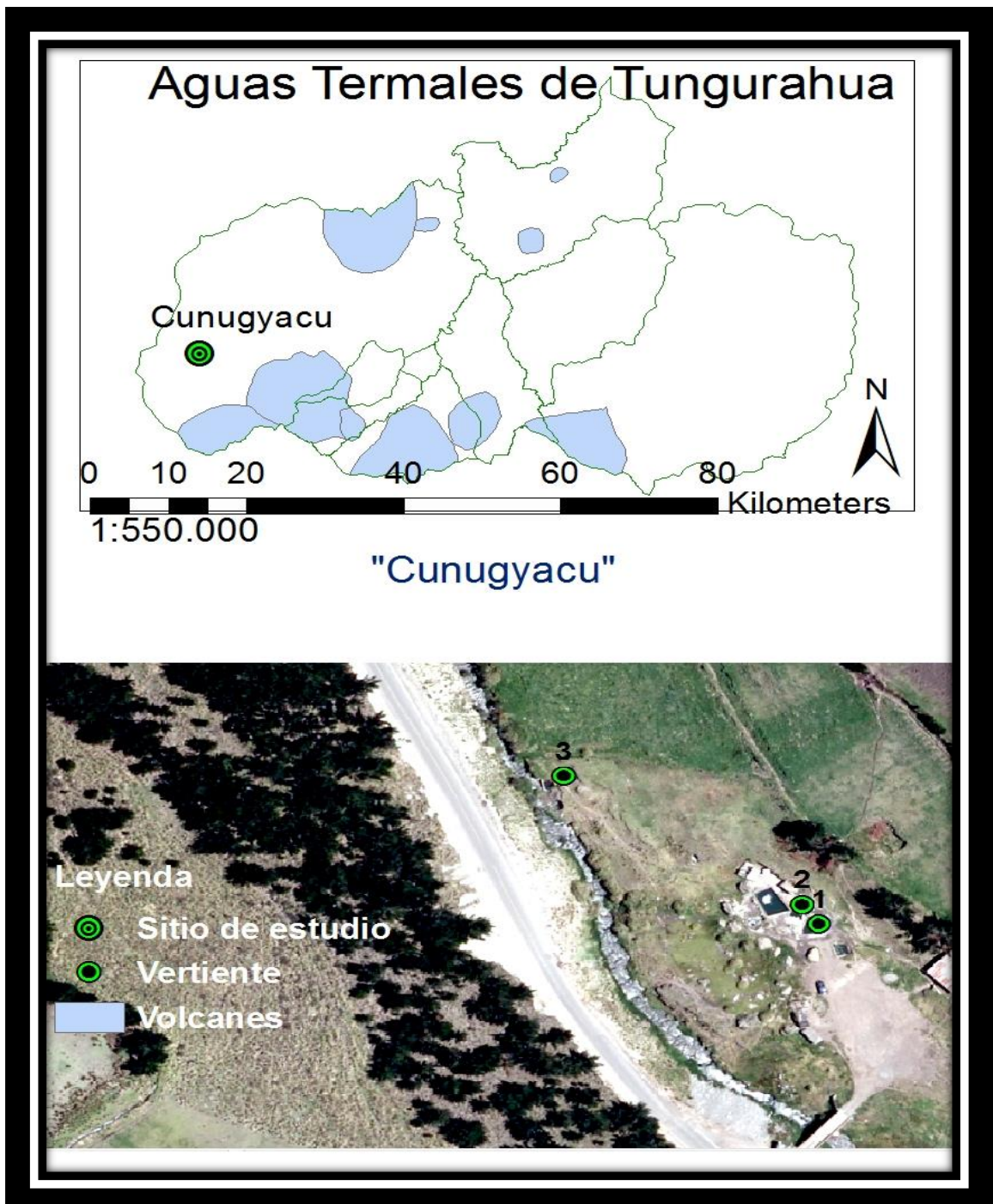
UNSCEAR. *Report: Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I. Sources.* New York : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Drinking water Quality -4th ed.* Suiza : WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, 2011.

YOUNG, H. *Física universitaria, con física moderna volumen 2.* México : Pearson Educación, 2009.

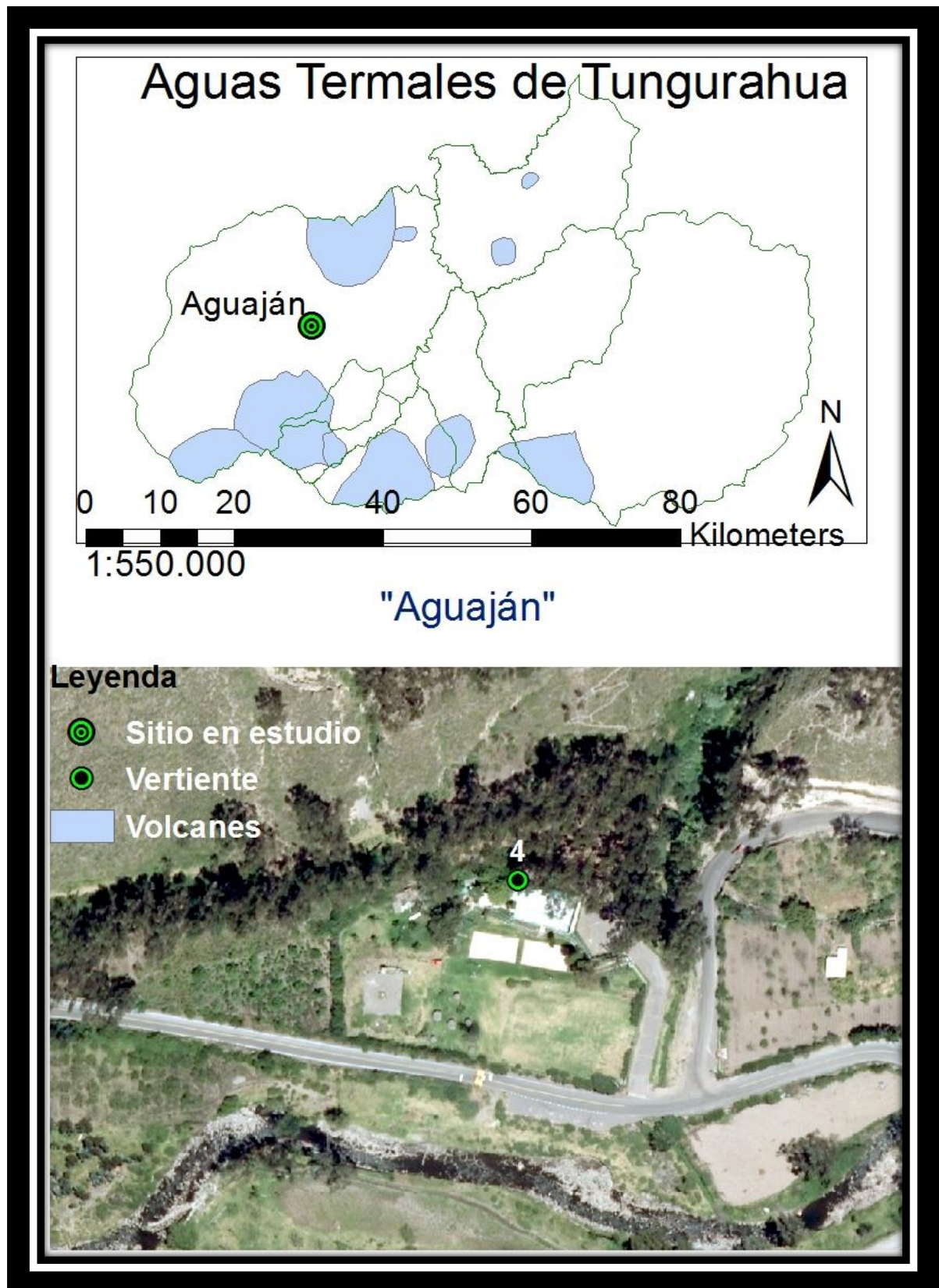
ANEXOS

ANEXO A: Mapas descriptivos de la ubicación de las fuentes termales



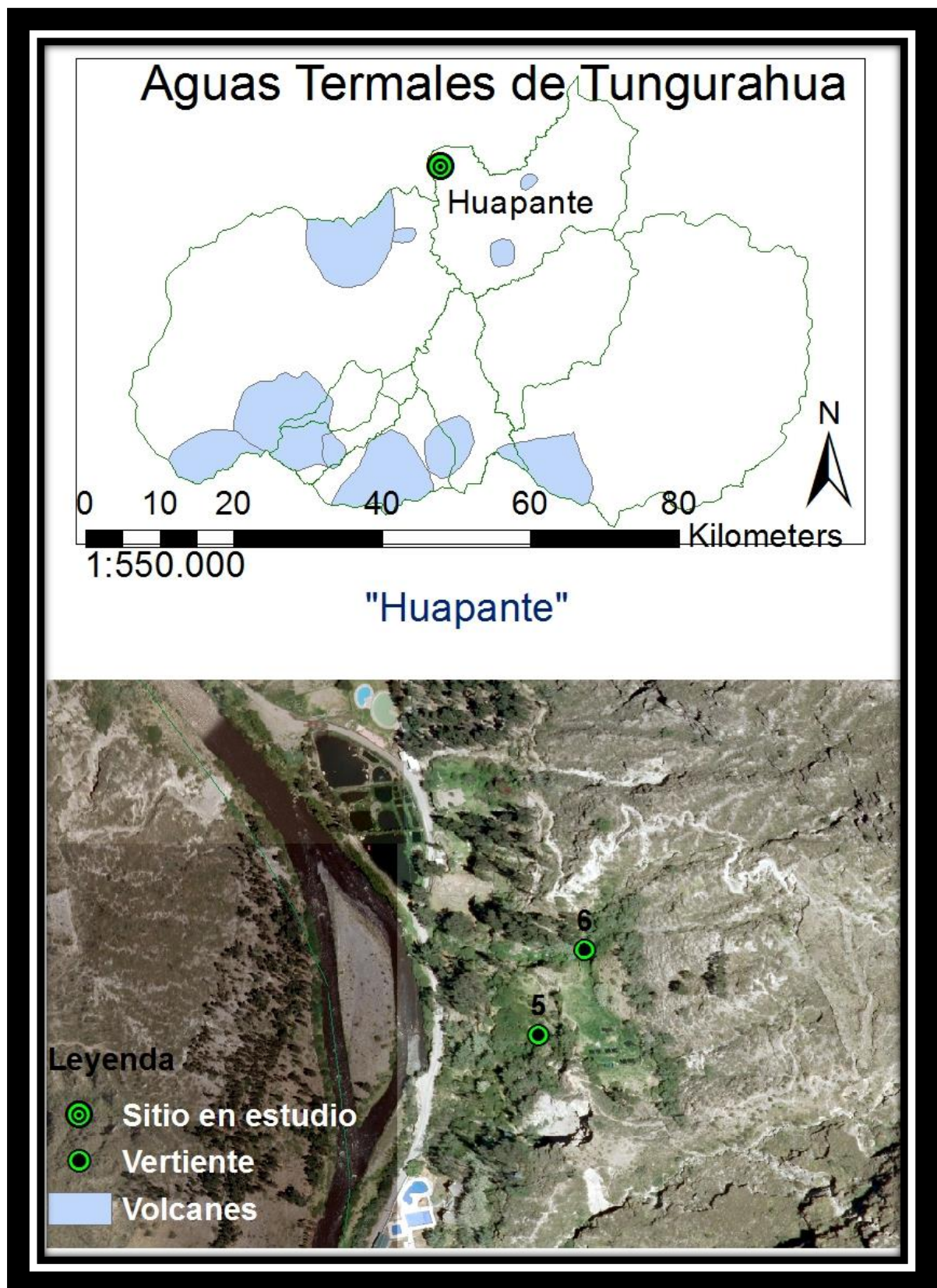
Mapa descriptivo del complejo termal Cunugyacu con foto satelital, ubicado en el cantón Ambato.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



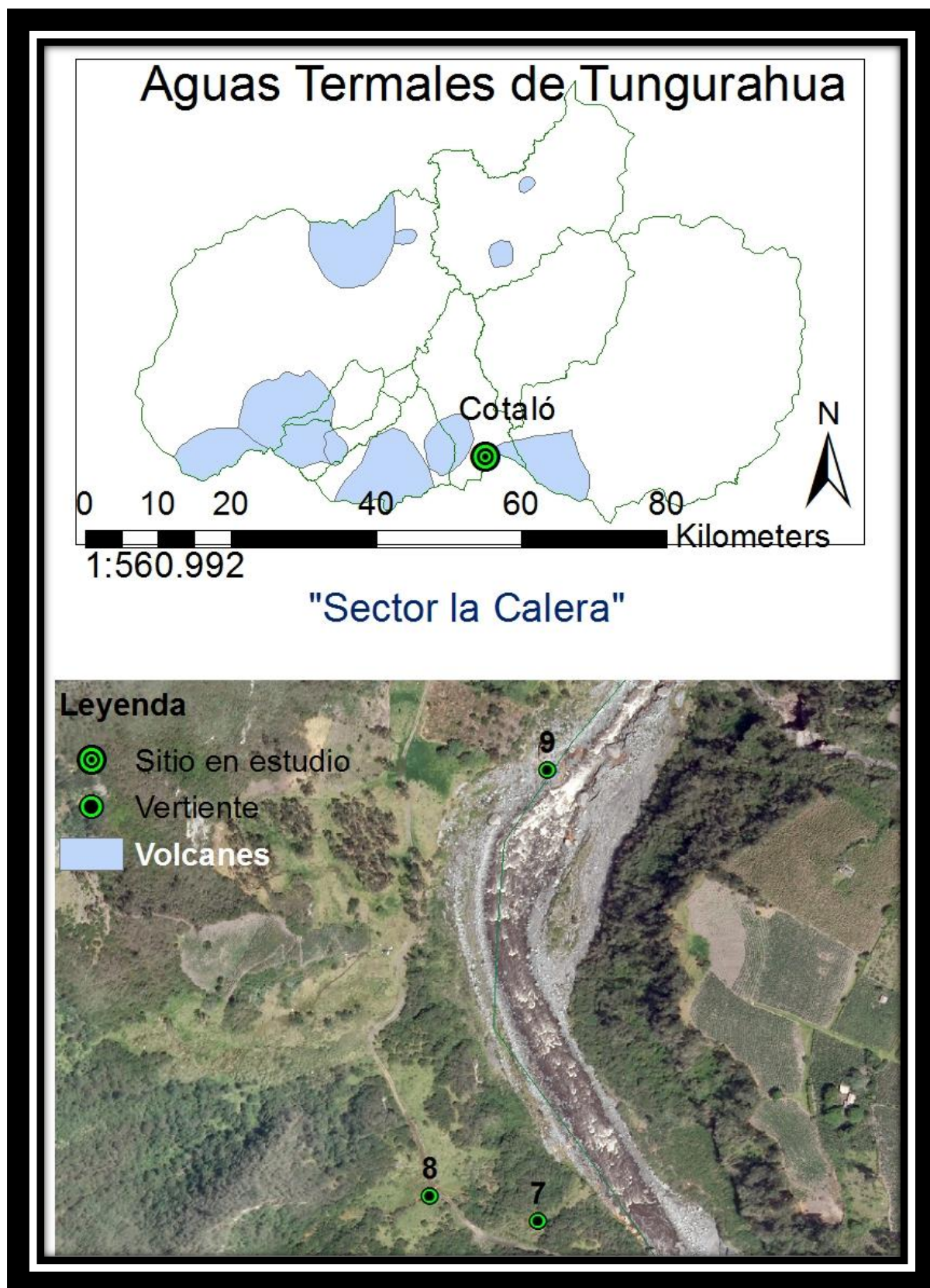
Mapa descriptivo del complejo termal Aguaján con foto satelital, ubicado en el cantón Ambato.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



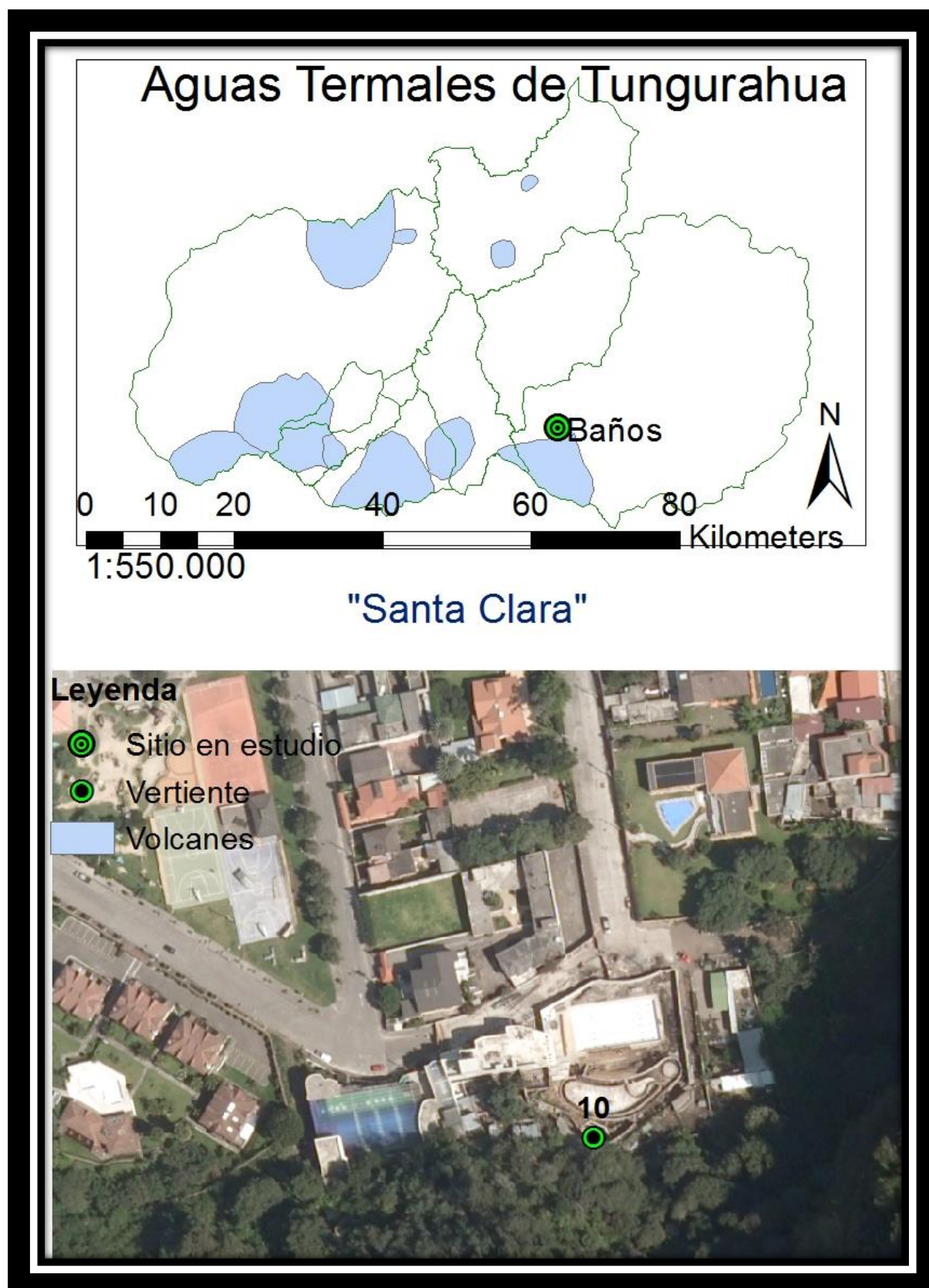
Mapa descriptivo del complejo termal Huapante con foto satelital, ubicado en el cantón Píllaro.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



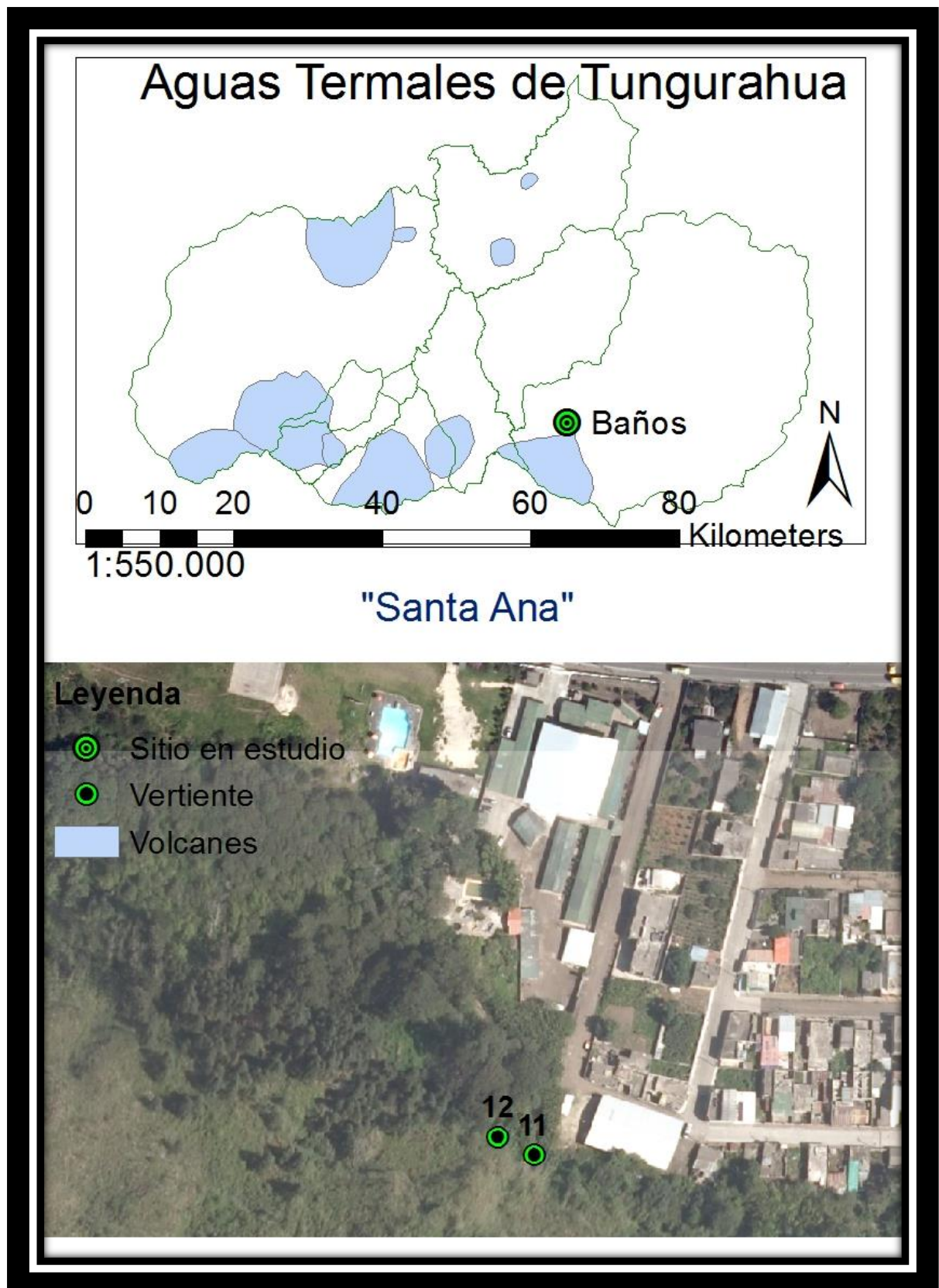
Mapa descriptivo del complejo termal la Calera con foto satelital, ubicado en el cantón Pelileo.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



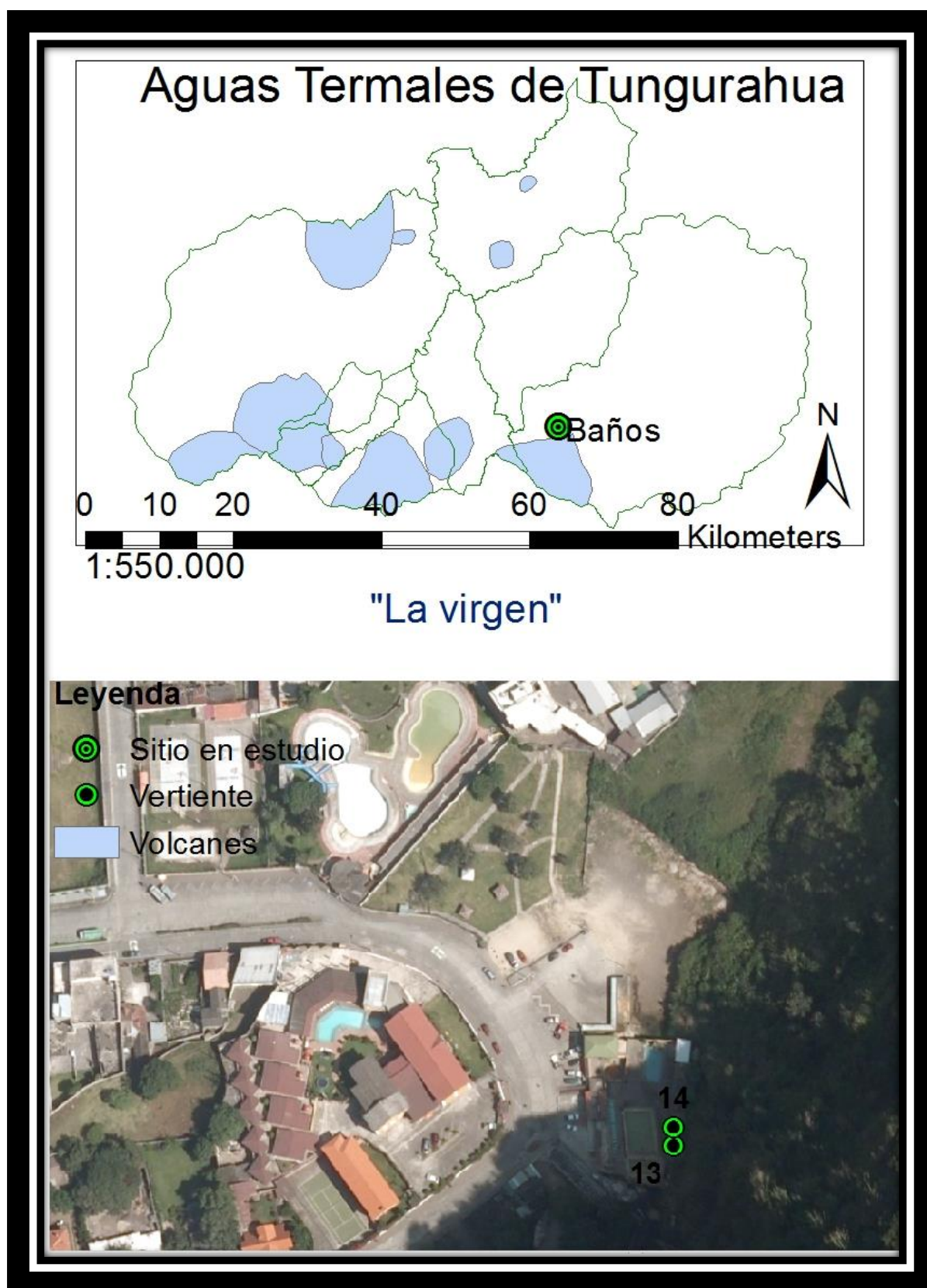
Mapa descriptivo del complejo termal Santa Clara con foto satelital, ubicado en el cantón Baños.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



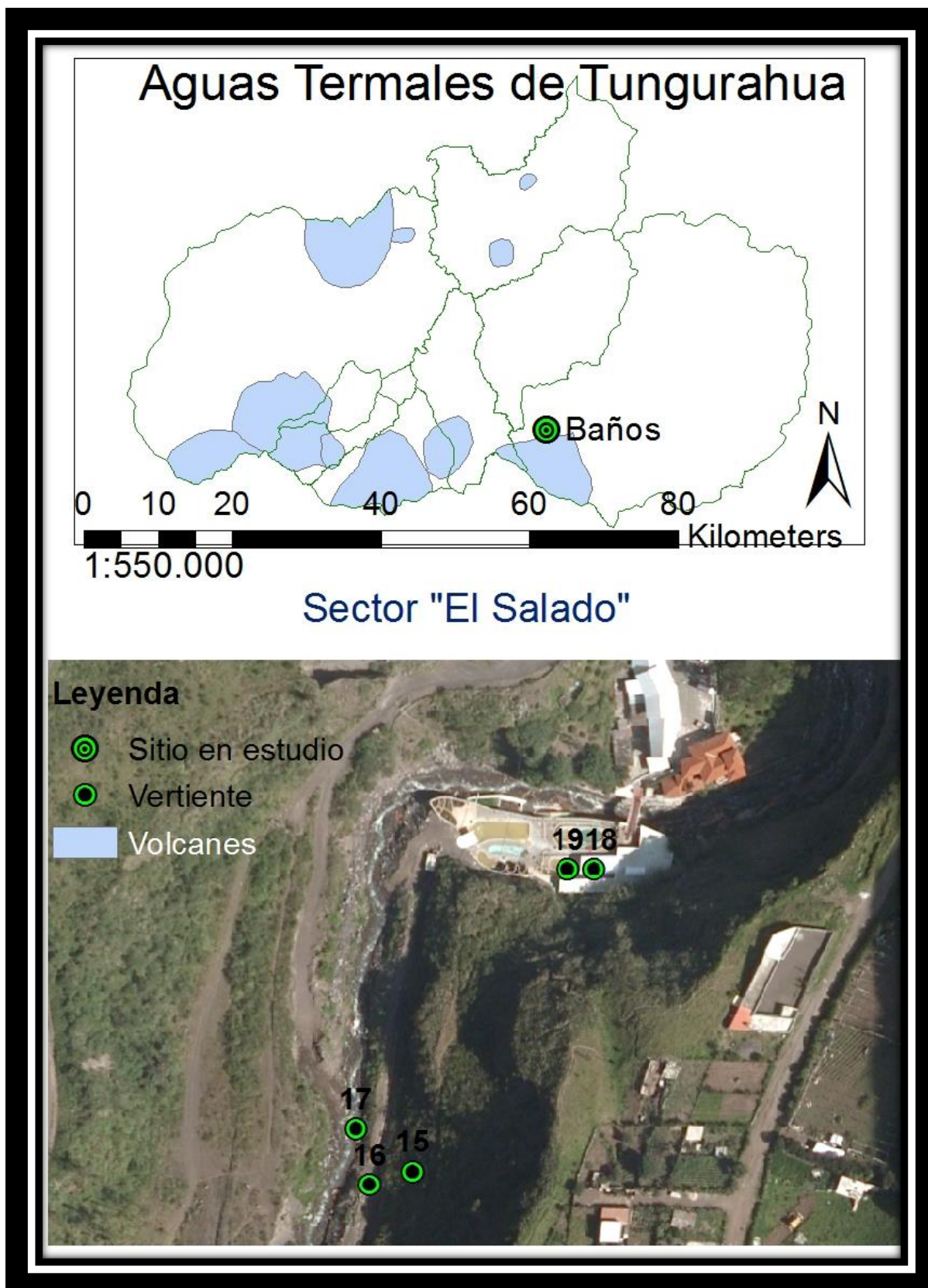
Mapa descriptivo del complejo termal Santa Ana con foto satelital, ubicado en el cantón Baños.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



Mapa descriptivo del complejo termal de la Virgen con foto satelital, ubicado en el cantón Baños.

Realizado por: Wilson Reino, 2016



Mapa descriptivo del complejo termal el Salado con foto satelital, ubicado en el cantón Baños.

Realizado por: Wilson Reino, 2016

Polonium - 210

²¹⁰Po₈₄






Half life: 138.4 days
Specific activity: 1.66E+14 Bq.g⁻¹



Risk group: 1
Risk colour: Red

Main emissions (keV)						
	Gamma or X		Beta (E _{max})		Electrons	
	E	%	E	%	E	%
E1	803	<1				5304 100
E2						
E3						
% omitted		0				0

Exemption levels	
Quantity (Bq)	1E+04
Concentration (Bq.g ⁻¹)	1E+01

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	4E+1
IAEA ST1 A ₂ value	2E-2

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h ⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m ⁻² (as appropriate)						
Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe		
						
Betas, electrons (skin dose)	Betas, electrons (skin)					
	10 cm 0.0E+00					
	1 m 0.0E+00					
	Photons (skin)					
	10 cm 5.7E-08					
	1 m 3.7E-08					
	Photons (deep dose)					
	10 cm 5.3E-08					
	1 m 3.4E-08					
Gammas, X rays (deep tissue dose)		100 cm 1.30E-9	4.70E-6	2.23E-5		
1.51E-8						

CONTAMINATION			
Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)		Detection	Derived limits (Bq.cm ⁻²)
Uniform deposit (1kBq.cm ⁻²)	6.90E-7	Recommended probes*	Removable contamination
0.05 ml droplet (1 kBq)	0.00E+0	Alpha ++	3E-1
		Beta	Fixed contamination
		Gamma	3E+1
		X rays	
			
* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique			

SHIELDING (mm)			
Betas and electrons (Total absorption)			
Glass			-
Plastic			-
Gamma and X rays (half and tenth value thickness)			
	½		1/10
Lead	11		31
Steel	31		78

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS						
COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq ⁻¹)						
Ingestion	f ₁		Inhalation	1 µm	5 µm	
All compounds	0.100	2.4E-07		F		
				M		
				S		
Highest dose organ	Whole body	20 mSv A _{LI} Ingestion	8.3E+04 (Bq)	20 mSv A _{LI} Inhalation	6.7E+03 (Bq)	

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)						
PHYSICOCHEMICAL STATE	Subject to external exposure requirements which may be more restrictive					
	Volatility factor (k)	Supervised area		Controlled area		
		Bench	Fume hood	Bench	Fume hood	Glove box
All compounds	0.01	2E+03	2E+04	7E+03	7E+04	7E+06

Especificaciones radiológicas del Po-210

Fuente: ICRU

$^{214}\text{Pb}_{82}$

Half life: 26.8 minutes
Specific activity: 1.21E+18 Bq.g⁻¹






Risk group: 2
Risk colour: Orange

Main emissions (keV)								
	Gamma or X		Beta (Emax)		Electrons		Alpha	
	E	%	E	%	E	%	E	%
E1	295	19	672	48	205	7		
E2	352	37	729	42	261	9		
E3	786	1	1024	6	335	2		
% omitted		47		3		42		

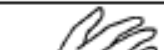

Exemption levels	
Quantity (Bq)	-
Concentration (Bq.g ⁻¹)	-

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	-
IAEA ST1 A ₂ value	-

EXTERNAL EXPOSURE ($\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$) for an activity of 1 MBq or 1 $\text{MBq}\cdot\text{m}^{-2}$ (as appropriate)

Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe												
 <i>Betas, electrons (skin dose)</i> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">1.7E-01</div> <i>Gammas, X rays (deep tissue dose)</i> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content;">4.8E-04</div>	 <i>Betas, electrons (skin)</i> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>10 cm</td><td>1.4E-01</td></tr> <tr><td>1 m</td><td>2.2E-03</td></tr> </table> <i>Photons (skin)</i> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>10 cm</td><td>3.6E-03</td></tr> <tr><td>1 m</td><td>2.6E-03</td></tr> </table> <i>Photons (deep dose)</i> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>10 cm</td><td>2.1E-03</td></tr> <tr><td>1 m</td><td>2.4E-03</td></tr> </table>	10 cm	1.4E-01	1 m	2.2E-03	10 cm	3.6E-03	1 m	2.6E-03	10 cm	2.1E-03	1 m	2.4E-03	 100 cm <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto;">4.4E-05</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto;">1.5E-01</div>	 <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-left: auto;">1.5E+00</div>
10 cm	1.4E-01															
1 m	2.2E-03															
10 cm	3.6E-03															
1 m	2.6E-03															
10 cm	2.1E-03															
1 m	2.4E-03															

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION		SHIELDING (mm)	
Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)		Betas and electrons (Total absorption)	
Uniform deposit (1kBq.cm ⁻²)	2.5E+00	Glass	1.9
0.05 ml droplet (1 kBq)	9.4E-01	Plastic	3.3
 		Gamma and X rays (half and tenth value thickness)	
Detection			
Recommended probes*			
Alpha		Derived limits (Bq.cm ⁻²)	
Beta	++	Removable contamination	
Gamma	++	4E+01	
X rays	+	Fixed contamination	
		1E+02	
			% 1/10
		Lead	9 21
		Steel	37 73

* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS							
COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq ⁻¹)							
Ingestion		f ₁		Inhalation			
					1 μm	5 μm	
All compounds		0.200	1.4E-10	All compounds	F	2.9E-09	4.8E-09
					M		
					S		
Highest dose organ	Lungs	20 mSv ALI _{ingestion}		1.4E+08 (Bq)	20 mSv ALI _{inhalation}		4.2E+06 (Bq)

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)						
PHYSICOCHEMICAL STATE	<i>Subject to external exposure requirements which may be more restrictive</i>					
	Volatility factor (k)	Supervised area		Controlled area		
		Bench	Fume hood	Bench	Fume hood	Glove box
All compounds	0.01	3E+05	3E+06	1E+06	1E+07	1E+09

Especificaciones radiológicas del Pb-214

Fuente: ICRU

Potassium - 40






⁴⁰K₁₉

Half life: 1.3E+9 years
Specific activity: 2.54E+05 Bq.g⁻¹



Risk group: 3
Risk colour: Yellow

Main emissions (keV)						Exemption levels	
Gamma or X		Beta (Emax)		Electrons		Quantity (Bq)	1E+06
E	%	E	%	E	%	Concentration (Bq.g ⁻¹)	1E+02
E1	1461	11	1312	89	3	7	
E2							
E3							
% omitted	0		0		0		

Transport (TBq)	
IAEA ST1 A ₁ value	9E-1
IAEA ST1 A ₂ value	9E-1

EXTERNAL EXPOSURE (mSv.h ⁻¹) for an activity of 1 MBq or 1 MBq.m ⁻² (as appropriate)				
Point source (30 cm)	Infinite plane source	10 ml glass vial	Contact with 50 ml glass beaker	Contact with 5 ml plastic syringe
				
Betas, electrons (skin dose)	Betas, electrons (skin)			
10 cm	1.0E-01			
1 m	3.0E-02			
Photons (skin)	Photons (skin)			
10 cm	9.4E-04			
1 m	6.2E-04			
Photons (deep tissue dose)	Photons (deep tissue dose)			
10 cm	8.8E-04			
1 m	5.8E-04			
Gammas, X rays (deep tissue dose)		100 cm		
2.30E-4		1.98E-5	7.08E-2	1.35E+1

The values above do not include Bremsstrahlung radiation.

CONTAMINATION			SHIELDING (mm)	
Contamination skin dose (mSv.h ⁻¹)		Detection	Betas and electrons (Total absorption)	
Uniform deposit (1kBq.cm ⁻²)	1.65E+0	Recommended probes*	Glass	2.4
0.05 ml droplet (1 kBq)	1.10E+0	Alpha	Plastic	4.4
		Beta	Gamma and X rays (half and tenth value thickness)	
		Gamma		
		X rays		
		Derived limits (Bq.cm ⁻²)		
		Removable contamination		
		4E+1		
		Fixed contamination		
		2E+2		
			%	1/10
			Lead	18
			Steel	38

* If no probes are indicated the recommended technique is to use a wipe test in association with a probe or liquid scintillation technique

INTERNAL EXPOSURE FOR WORKERS					
COMMITTED EFFECTIVE DOSE PER UNIT INTAKE (Sv.Bq ⁻¹)					
Ingestion	f ₁		Inhalation	1 µm	5 µm
All compounds	1.000	6.2E-09	All compounds	F	2.1E-09
				M	3.0E-09
				S	
Highest dose organ	Lungs	20 mSv ALI _{ingestion}	3.2E+06 (Bq)	20 mSv ALI _{inhalation}	6.7E+06 (Bq)

MAXIMUM RECOMMENDED ACTIVITIES IN LOW LEVEL OR INTERMEDIATE LEVEL LABORATORIES (Bq)						
PHYSICOCHEMICAL STATE	Subject to external exposure requirements which may be more restrictive					
	Volatility factor (k)	Supervised area		Controlled area		
		Bench	Fume hood	Bench	Fume hood	Glove box
All compounds	0.01	5E+05	5E+06	2E+06	2E+07	2E+09

Especificaciones radiológicas del K-40

Fuente: ICRU

ANEXO C: Reporte de actividad del espectrómetro gamma para cada análisis



LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 09-11-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2016
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 27-10-2016 16:25:05
Live time: 55403.68 s.
Real time: 55414.00 s.
Comment:

Processing result on 27-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
Unidentified	< 34			
Background	6760	160	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Unidentified	< 34		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Background	6760	160	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Cunugyacu 1.

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD 2016-343-02--29 09
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 29-09-2016 07:50:07
Live time: 82559.00 s.
Real time: 86292.00 s.
Comment:

Processing result on 29-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	760	140	40	18
79.29	10.8	2.7	< 70	
609.31	430	80	40	19
768.36	40	8	40	30
806.17	9.4	1.9	< 69	
934.06	21	4	40	50
1120.29	92	17	40	21
1238.11	33	6	40	30
1377.67	21	4	40	40
1729.60	12.7	2.3	< 62	
1764.49	66	12	40	25
2204.21	17	3	40	50
Unidentified	9170	240		
Background	11390	250	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214	760	140	40	18	21
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	9170	240	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	11390	250	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Cunugyacu 2.

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsrml\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Qulto\ARAD 2016-343-03-28 09
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 28-09-2016 07:50:28
Live time: 82804.33 s.
Real time: 86300.00 s.
Comment:

Processing result on 28-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	940	140	50	14
79.29	13.5	2.4	< 80	
609.31	540	80	49	15
768.36	49	8	50	30
934.06	26	4	50	40
1120.29	115	16	50	19
1155.19	12.2	1.7	< 78	
1238.11	41	6	50	30
1377.67	26	4	50	40
1729.60	15.9	2.2	50	50
1764.49	82	11	50	22
2204.21	22	3	50	40
Pb-214	560	180	16	30
242.00	80	30	17	40
295.22	180	60	16	30
351.93	300	90	16	30
Unidentified	5530	230		
Background	12080	260	0	

Nuclide/Energy		Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> Bi-214		940	140	50	14	21
<input checked="" type="checkbox"/> Pb-214		560	180	16	30	15
<input checked="" type="checkbox"/> Unidentified		5530	230	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> Background		12080	260	-	-	0



Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Cunugyacu piscina.

Gamma-spectrum processing report from 09-11-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spel\Quito\SCAN ARAD 2016
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 26-10-2016 16:49:49
Live time: 54126.02 s.
Real time: 54136.00 s.
Comment:

Processing result on 26-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq	Relative error, %
Unidentified	< 33			
Background	6740	160	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	< 33		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	6740	160	-	-	0







Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Aguaján

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2016 343.05
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 12-10-2016 07:59:07
Live time: 87334.89 s.
Real time: 87353.00 s.
Comment:

Processing result on 12-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Ac-228	69	25	1.4	40
968.97	69	25	1.4	40
Unidentified	< 70			
Background	10910	230	0	

Nuclide/Energy		Area	DArea	Activity,Bq/l ▼	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Ac-228		69	25	1.4	40	2.3
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified		< 60		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background		10930	230	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Huapante tanque.

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-20160343-06_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 03-10-2016 07:56:55
Live time: 82767.91 s.
Real time: 86160.00 s.
Comment:

Processing result on 03-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	590	110	31	19
609.31	330	60	31	19
768.36	30	6	31	40
934.06	16	3	31	50
1120.29	71	13	31	24
1238.11	25	5	31	40
1377.67	16	3	31	50
1407.98	8.5	1.7	< 51	
1509.23	7.9	1.5	< 52	
1729.60	9.8	1.9	< 50	
1764.49	51	10	31	28
1847.42	6.6	1.3	< 54	
2204.21	13.4	2.8	< 47	
Unidentified	9510	250		
Background	11210	240	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214	590	110	31	19	20
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	10220	270	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	11040	240	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Huapante represa.

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsrmi\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spei\Quito\SCAN ARAD 2016
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 26-09-2016 08:32:28
Live time: 80225.93 s.
Real time: 83624.00 s.
Comment:

Processing result on 26-09-2016:

Nuclides	Area, [Impulse]	Absolute error, [Impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	1010	150	49	14
609.31	520	80	48	16
665.45	15.9	2.4	< 74	
768.36	48	7	49	29
806.17	11.5	1.7	< 78	
934.06	26	4	49	40
1120.29	112	15	49	19
1155.19	11.9	1.6	< 77	
1238.11	40	5	49	30
1280.96	9.7	1.3	< 80	
1377.67	26	4	49	40
1385.31	4.8	0.7	< 90	
1401.50	8.0	1.1	< 80	
1407.98	13.5	1.9	< 75	
1509.23	12.6	1.8	< 76	
1583.22	3.9	0.6	< 100	
1661.28	6.3	0.9	< 90	
1729.60	15.5	2.2	49	50
1764.49	80	11	49	22
1847.42	10.5	1.5	< 78	
2118.55	5.0	0.8	< 90	
2204.21	21	3	49	40
2447.86	5.8	1.0	< 90	
Unidentified	4490	290		
Background	11160	240	0	

Nuclide/Energy	Area	D Area	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214	1010	150	49	14	20
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	4490	290	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	11160	240	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Calera pantano.



ЛАБОРАТОРИЯ
СПЕКТРОМЕТРИИ
И РАДИОМЕТРИИ

ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии»











LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 10-10-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-343-08_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 12-09-2016 08:16:00
Live time: 180143.31 s.
Real time: 186034.00 s.
Comment:

Processing result on 12-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Po-210	130	40	5200	30
Bi-214	810	150	42	18
Ac-228	1090	180	2.5	14
Unidentified	15200	300		
Background	24600	400	0	

Nuclide/Energy		Area	DArea	Activity,Bq/l ▼	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Po-210		130	40	5200	30	8000
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214		810	150	42	18	40
<input checked="" type="checkbox"/>  Ac-228		1090	180	2.5	14	1.9
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified		15200	300	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background		24600	400	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Calera acequia.



ЛАБОРАТОРИЯ
СПЕКТРОМЕТРИИ
И РАДИОМЕТРИИ

ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии»

LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 21-09-2016 10:42:19
Live time: 84354.27 s.
Real time: 88472.00 s.
Comment:

Processing result on 21-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	790	140	43	17
609.31	460	80	42	18
768.36	42	8	43	30
934.06	23	4	43	40
1120.29	99	16	43	20
1238.11	35	6	43	30
1377.67	22	4	43	40
1401.50	7.0	1.2	< 70	
1407.98	11.9	2.0	< 68	
1764.49	70	12	43	24
2118.55	4.4	0.8	< 80	
2204.21	19	3	43	50
Unidentified	5900	190		
Background	11720	250	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> Bi-214	790	140	43	17	21
<input checked="" type="checkbox"/> Unidentified	5900	190	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> Background	11720	250	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Calera río.



ЛАБОРАТОРИЯ
СПЕКТРОМЕТРИИ
И РАДИОМЕТРИИ

ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии»

LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 11-11-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 17-10-2016 07:56:37
Live time: 98151.73 s.
Real time: 98170.00 s.
Comment:

Processing result on 17-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	620	90	32	15
Pb-214	400	200	11	50
Unidentified	< 48			
Background	12470	270	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> Bi-214	620	90	32	15	24
<input checked="" type="checkbox"/> Pb-214	400	200	11	50	16
<input checked="" type="checkbox"/> Unidentified	< 48		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> Background	12470	270	-	-	0






Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Santa Clara.

Gamma-spectrum processing report from 11-11-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2016
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 31-10-2016 07:57:49
Live time: 86159.09 s.
Real time: 86175.00 s.
Comment:

Processing result on 31-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	970	130	50	13
Pb-214	490	190	14	40
K-40	120	50	1.7	40
Unidentified	< 70			
Background	11220	240	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214	970	130	50	13	21
<input checked="" type="checkbox"/>  Pb-214	490	190	14	40	15
<input checked="" type="checkbox"/>  K-40	120	50	1.7	40	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	< 70		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	11220	240	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Santa Ana cueva.

Gamma-spectrum processing report from 06-10-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD-2016-343-12_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 04-10-2016 07:54:21
Live time: 85884.20 s.
Real time: 89743.00 s.
Comment:

Processing result on 04-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	630	130	35	21
Unidentified	8350	250		
Background	12100	260	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214	630	130	34	21	21
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	9920	280	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	11530	260	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Santa Ana chorrera.

Gamma-spectrum processing report from 11-11-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\SpelQuito\SCAN ARAD 2014
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 09-11-2016 07:59:08
Live time: 86381.96 s.
Real time: 86398.00 s.
Comment:

Processing result on 09-11-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
K-40	180	40	2.5	24
1460.82	180	40	2.5	24
Background	10680	230	0	
Unidentified	330	90		

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  K-40	180	40	2.5	24	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	330	90	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	10680	230	-	-	0




Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Virgen 1.

Gamma-spectrum processing report from 11-11-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2014
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 10-11-2016 08:00:02
Live time: 86241.99 s.
Real time: 86258.00 s.
Comment:

Processing result on 10-11-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
K-40	170	50	2.4	30
1460.82	170	50	2.4	30
Unidentified	230	60		
Background	10630	230	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  K-40	170	50	2.4	30	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	230	60	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	10630	230	-	-	0





Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Virgen 2.

Gamma-spectrum processing report from 12-11-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2014
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 11-11-2016 07:58:23
Live time: 85705.09 s.
Real time: 85721.00 s.
Comment:

Processing result on 11-11-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
K-40	190	50	2.7	25
1460.82	190	50	2.7	25
Ac-228	300	110	0.72	40
93.35	20	8	< 1.1	
129.07	18	7	< 1.1	
209.25	28	9	0.72	40
270.25	20	7	0.7	40
328.00	15	5	< 1.1	
338.32	55	19	0.72	40
409.48	8.0	2.8	< 1.2	
483.00	17	6	0.7	50
794.95	11	4	< 1.2	
911.20	59	21	0.72	40
984.77	11	4	< 1.2	
988.97	35	13	0.72	40
1588.20	4.9	1.7	< 1.4	
Unidentified	60	40		
Background	10220	220	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  K-40	190	50	2.7	25	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>  Ac-228	300	110	0.72	40	1.1
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified	< 100		-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background	10220	220	-	-	0















Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Salado tanque.

Gamma-spectrum processing report from 11-11-2016

Spectrum: C:\Lsrml\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SCAN ARAD 2016
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 28-10-2016 07:49:55
Live time: 259556.03 s.
Real time: 259604.00 s.
Comment:

Processing result on 28-10-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Po-210	210	50	5700	27
Bi-214	4200	300	207	7
Pb-214	1400	500	40	30
Ac-228	1080	200	2.4	16
K-40	350	80	1.7	23
Unidentified	380	130		
Background	30500	500	0	

Nuclide/Energy		Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>  Po-210		210	50	5700	27	8000
<input checked="" type="checkbox"/>  Bi-214		4200	300	207	7	50
<input checked="" type="checkbox"/>  Pb-214		1400	500	40	30	40
<input checked="" type="checkbox"/>  Ac-228		1080	200	2.4	16	2.6
<input checked="" type="checkbox"/>  K-40		350	80	1.7	23	2.1
<input checked="" type="checkbox"/>  Unidentified		380	130	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>  Background		30500	500	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Salado acequia.



ЛАБОРАТОРИЯ
СПЕКТРОМЕТРИИ
И РАДИОМЕТРИИ

ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии»

LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 10-10-2016

Spectrum: C:\LsrmlWork\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD2016-343-17_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 19-09-2016 00:00:00
Live time: 82952.00 s.
Real time: 86655.00 s.
Comment:

Processing result on 19-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	1070	130	58	11
Pb-214	650	190	19	28
K-40	150	40	2.2	26
Unidentified	5630	190		
Background	12030	250	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity, Bq/l	Uncertai...	MDA, Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> Bi-214	1070	130	58	11	21
<input checked="" type="checkbox"/> Pb-214	650	190	19	28	15
<input checked="" type="checkbox"/> K-40	150	40	2.3	27	2.5
<input checked="" type="checkbox"/> Unidentified	5660	190	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> Background	12000	250	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Salado río.



ЛАБОРАТОРИЯ
СПЕКТРОМЕТРИИ
И РАДИОМЕТРИИ

ООО «Лаборатория спектрометрии и радиометрии»

LSRM SpectraLine

Gamma-spectrum processing report from 10-10-2016

Spectrum: C:\Lsrm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\SPE ARAD-SCAN-2016-343.18
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 09-09-2016 00:00:00
Live time: 210858.00 s.
Real time: 218527.00 s.
Comment:

Processing result on 09-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Po-210	140	40	4500	28
Bi-214	5500	400	285	7
Pb-214	2200	400	64	17
K-40	1350	90	7.9	8
Unidentified	14400	300		
Background	30500	500	0	

Nuclide/Energy	Area	DArea	Activity,Bq/l ▼	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/> Po-210	140	40	4600	28	8000
<input checked="" type="checkbox"/> Bi-214	5500	400	281	7	40
<input checked="" type="checkbox"/> Pb-214	2200	400	65	18	30
<input checked="" type="checkbox"/> K-40	1350	90	7.9	8	1.9
<input checked="" type="checkbox"/> Unidentified	13900	300	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/> Background	30700	500	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Salado piscina cubierta.



Gamma-spectrum processing report from 17-10-2016

Spectrum: C:\Lsm\Work\GCD-40180X SN 2169-15\Spe\Quito\ARAD2016-343-19_Marinelli.spe
Configuration: GCD-40180X SN 2169-15
Measurement date: 20-09-2016 07:51:42
Live time: 88771.19 s.
Real time: 92876.00 s.
Comment:

Processing result on 20-09-2016:

Nuclides	Area, [impulse]	Absolute error, [impulse]	Activity, Bq/l	Relative error, %
Bi-214	1930	190	94	10
609.31	1030	100	94	10
665.45	30	3	90	40
768.36	93	9	95	22
806.17	22.2	2.3	90	40
934.06	50	5	94	28
1120.29	215	21	93	14
1155.19	22.9	2.2	90	40
1238.11	78	7	95	23
1280.96	18.6	1.8	90	50
1377.67	49	5	94	28
1401.50	15.4	1.5	< 140	
1407.98	26.1	2.7	90	40
1509.23	24.2	2.4	90	40
1729.60	29.8	3.0	90	40
1764.49	153	15	94	16
1847.42	20.3	2.1	90	40
2204.21	40	5	92	30
2447.86	11.3	1.7	< 150	
Pb-214	610	190	18	30
242.00	86	29	18	30
295.22	190	60	18	30
351.93	330	100	18	30
K-40	130	60	1.8	40
1460.82	130	60	1.8	40

Nuclide/Energy		Area	DArea	Activity,Bq/l	Uncertai...	MDA ,Bq/l
<input checked="" type="checkbox"/>	Bi-214	1130	130	60	11	22
<input checked="" type="checkbox"/>	Pb-214	610	190	18	30	16
<input checked="" type="checkbox"/>	K-40	130	50	1.9	40	2.5
<input checked="" type="checkbox"/>	Unidentified	6200	200	-	-	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Background	13040	270	-	-	0

Reporte de actividad del Laboratorio de Vigilancia Ambiental Radiactiva para la fuente Salado piscina descubierta.